

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-194512  
 (43)Date of publication of application : 30.07.1996

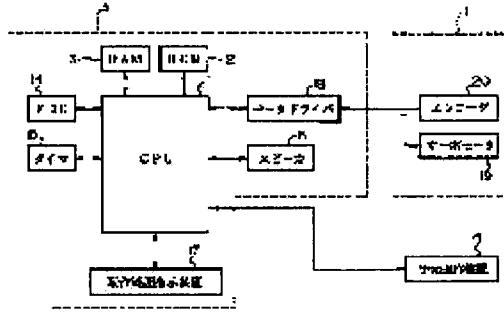
(51)Int.Cl. G05B 19/18  
 B25J 9/22  
 G05B 19/19

(21)Application number : 07-007721 (71)Applicant : TOKICO LTD  
 (22)Date of filing : 20.01.1995 (72)Inventor : AKAMI YUSUKE  
 MATSUOKA YOSHIKO

## (54) ROBOT CONTROLLER

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To provide a robot controller which can indicate the optimum position of a work to an operator with consideration taken into the robot performance.  
**CONSTITUTION:** A CPU 11 controls every part of a controller 3 by means of a RAM 13 and based on the control program stored in a ROM 12. An operating range indicating device 17 moves the tip of a coating gun held by the arm tip of a robot 1 along the outer edge of a coating range. Then the CPU 11 automatically correct the teaching data so that a work is kept in the coating range and also the work is set at a position where the highest working efficiency is secured for the robot 1 while considering the ratios set among the angular velocity, the angular acceleration, the maximum angular velocity and the maximum angular acceleration respectively for each axis of the robot 1 when it moves.



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-194512

(43)公開日 平成8年(1996)7月30日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

G 05 B 19/18

B 25 J 9/22

G 05 B 19/19

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

A

M

G 05 B 19/18

D

審査請求 未請求 請求項の数 6 O.L. (全 38 頁)

(21)出願番号

特願平7-7721

(22)出願日

平成7年(1995)1月20日

(71)出願人 000003056

トキコ株式会社

神奈川県川崎市川崎区富士見1丁目6番3号

(72)発明者 赤見 裕介

神奈川県川崎市川崎区富士見1丁目6番3号 トキコ株式会社内

(72)発明者 松岡 佳子

神奈川県川崎市川崎区富士見1丁目6番3号 トキコ株式会社内

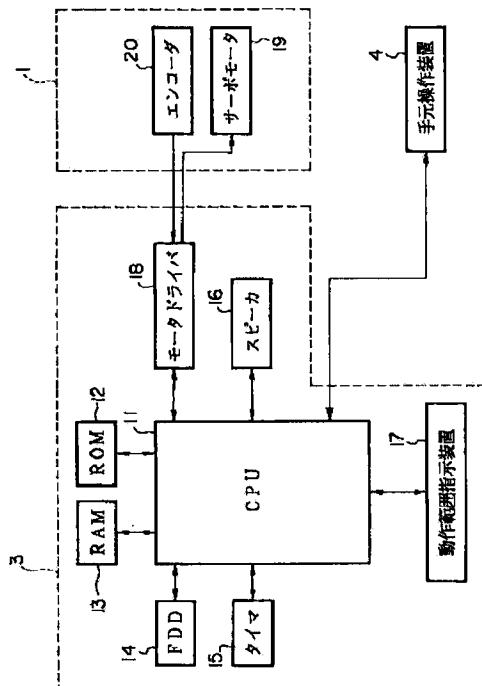
(74)代理人 弁理士 志賀 正武 (外2名)

(54)【発明の名称】 ロボットの制御装置

(57)【要約】

【目的】 ロボットの性能を考慮しながら、オペレータに対してワークの最適な配置位置を指示することができるロボットの制御装置を提供すること。

【構成】 C P U 1 1 は、R O M 1 2 に記憶された制御プログラムに従って、R A M 1 3 を用いて処理を行うことにより、制御装置3の各部を制御する。動作範囲指示装置17は、ロボット1のアームの先端に把持された塗装ガン先端を塗装範囲の外縁に沿って移動させる。C P U 1 1 は、ワークが上記塗装範囲の内側にはいるように教示データを自動的に修正する。また、C P U 1 1 は、ロボット1の各回転軸の移動時の角速度、角加速度と最大角速度、最大角加速度との比を考慮しながら、ロボット1が最も効率よく作業できる位置にワークがくるように教示データを修正する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の回転軸によって動かされるアームの先端に設けられた作業具を用いて所定の作業を行うロボットを制御するロボットの制御装置において、前記複数の回転軸のそれぞれを、前記ロボットの機械的構造によって決定される最大回転範囲に渡って回転させることにより、前記作業具の最大到達領域を求める演算手段と、前記演算手段からの出力により前記最大到達領域の輪郭に沿って前記ロボットを作動させる作動範囲を報知する報知手段とを具備することを特徴とするロボットの制御装置。

【請求項2】 請求項1記載のロボットの制御装置において、

前記最大到達領域を記憶する記憶手段と、前記作業具が所定の移動方向へ所定の移動距離だけ移動するように前記ロボットに移動指令を与える指令手段と、

前記移動指令の実行による前記作業具の移動前に、前記作業具の移動先となる予定位置が前記最大到達領域内にあるか否かを判断する判断手段と、

前記予定位置が前記最大到達領域の外にある場合、前記作業具の現在位置を前記移動方向とは異なる所定の方向へ前記移動距離とは異なる所定の距離だけ移動させてから、前記移動方向を変更させる移動方向変更手段とを具備することを特徴とするロボットの制御装置。

【請求項3】 ロボットのアームの先端に設けられた作業具を軌道データに従って移動させることで、所定の作業を行うロボットを制御するロボットの制御装置において、

前記軌道データのうち前記ロボットの座標系における各軸方向の最大値および最小値を示す点を求め、該軌道データを、これらの点を通り各軸に平行な直線で囲まれた形状を表す変換データに変換するデータ変換手段と、前記変換データの各辺に対して、前記作業具の最大到達領域からはみ出している部分の長さの該辺の全長に対する割合である動作領域比率を求める演算手段と、

前記変換データの各辺のうち、対応する前記動作領域比率が最も大きい辺である動作領域比率最大辺を選択する選択手段と、

前記動作領域比率最大辺が一つの場合には、該動作領域比率最大辺が対向する辺に向かう方向へ前記変換データを平行移動させ、前記動作領域比率最大辺が前記変換データの対向する辺である場合には、前記変換データの中心点を中心として前記変換データを回転させる修正手段と、

前記変換データが前記最大到達領域内に完全に収まるまで、前記演算手段には前記変換データの各辺に対して前記動作領域比率を求めさせ、前記選択手段には動作領域比率最大辺を求めさせ、前記修正手段には前記動作領域

比率最大辺の個数に従って前記変換データを平行移動または回転させる制御手段とを具備することを特徴とするロボットの制御装置。

【請求項4】 ロボットアームの先端に設けられた作業具を、前記作業具を移動させることができる領域である最大到達領域内において移動させ、所定の作業を行うロボットを制御するロボットの制御装置において、前記最大到達領域内に前記作業具の作業の対象となるワークを所定の半径の円弧上を移動させながら供給するターンテーブルと、

作業時における前記ワークに対する前記作業具の軌道を示す軌道データについて、前記軌道データのうち前記ロボットの座標系における各軸方向の最大値および最小値を示す点を求め、該軌道データを、これらの点を通り各軸に平行な直線で囲まれた形状を表す変換データに変換するデータ変換手段と、

前記変換データの各辺に対して、前記最大到達領域からはみ出している部分の長さの該辺の全長に対する割合である動作領域比率を求める演算手段と、

前記変換データの各辺のうち、対応する前記動作領域比率が最も大きい辺である動作領域比率最大辺を選択する選択手段と、

前記変換データの全ての辺の前記動作領域比率が等しい場合には、前記変換データを前記円弧の中心点を中心として移動させ、前記動作領域比率最大辺が前記変換データの隣合う二つの辺である場合には、前記変換データを前記円弧の中心点を中心として前記2つの動作領域比率最大辺が作る頂点が該頂点の対頂点へ向かう方向へ所定の角度だけ移動させる修正手段と、

前記変換データが前記最大到達領域内に完全に収まるまで、前記演算手段には前記変換データの各辺に対して前記動作領域比率を求めさせ、前記選択手段には動作領域比率最大辺を求めさせ、前記修正手段には前記動作領域比率最大辺の個数に従って前記変換データを平行移動または回転させる制御手段とを具備することを特徴とするロボットの制御装置。

【請求項5】 複数の回転軸で連結されたロボットアームの先端に設けられた作業具を移動させ、所定の作業を行うロボットを制御するロボットの制御装置において、前記作業具の移動時において、前記複数の回転軸のそれぞれに対して角速度を求める角速度算出手段と、

前記複数の回転軸の前記角速度を該回転軸の最大角速度で割った値である角速度比を、前記複数の回転軸のそれぞれについて求める角速度比算出手段と、

前記複数の回転軸のそれぞれの前記角速度比のうち、最大の角速度比を選択し、該最大の角速度比を角速度能力値とする角速度能力値選択手段と、

前記作業具の最大到達領域内の各座標点に対して、前記角速度能力値が所定の値以上であるか否かを判断する角速度能力値判断手段と、

前記所定の値以上の前記角速度能力値を示す座標点によって構成される領域である角速度能力領域を表示する角速度能力領域表示手段と、前記角速度能力領域の内部と外部との境界線に沿って前記作業具を移動させる角速度境界移動手段とを具備することを特徴とするロボットの制御装置。

【請求項6】複数の回転軸で連結されたロボットアームの先端に設けられた作業具を移動させ、所定の作業を行うロボットを制御するロボットの制御装置において、前記作業具の移動時において、前記複数の回転軸のそれぞれに対して角加速度を求める角加速度算出手段と、前記複数の回転軸の前記角加速度を該回転軸の最大角加速度で割った値である角加速度比を、前記複数の回転軸のそれぞれについて求める角加速度比算出手段と、前記複数の回転軸のそれぞれの前記角加速度比のうち、最大の角加速度比を選択し、該最大の角加速度比を角加速度能力値とする角加速度能力値選択手段と、前記作業具の最大到達領域内の各座標点に対して、前記角加速度能力値が所定の値以上であるか否かを判断する角加速度能力値判断手段と、前記所定の値以上の前記角加速度能力値を示す座標点によって構成される領域である角加速度能力領域を表示する角加速度能力領域表示手段と、前記角加速度能力領域の内部と外部との境界線に沿って前記作業具を移動させる角速度境界移動手段とを具備することを特徴とするロボットの制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明はティーチングプレイバック（教示再生方式）型のロボットの教示・制御に用いられるロボットの制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】以下、塗装用ロボットシステムを例に取ってティーチングプレイバック型のロボットについて説明を行う。ティーチングプレイバック型のロボットは、オペレータによって教示された塗装の手順や動作のタイミング等からなる教示データを再生する事で目的とする動作を行う。教示は、オンライン教示装置を用いて実際にロボットを動作させながら教示を行うオンライン教示と、ロボットを動作させることなく、専用のディスプレイと入力装置とからなるオフライン教示装置を用いて教示を行うオフライン教示とに大別できる。

【0003】図50は従来のロボットの制御装置を用いた塗装用ロボットシステムの構成例を示す斜視図である。ロボット1は、アーム1a、1bと4つの回転軸1c1～1c4を有す4自由度のスカラ型のロボット（平行リンク機構および手首を持つ）であり、固定ベース1dを介して、天井または壁に取り付けられている。また、ロボット1は、手首の先端に把持された塗装ガン2をその動作範囲内（以下、塗装ガン2が移動することの

できる動作範囲を塗装範囲と称する）の任意の位置に移動させ、水平面に向かって塗装を行う。

【0004】制御装置103は、CPU（中央処理装置）、ROM（リードオンリーメモリ）、RAM（ランダムアクセスメモリ）、フロッピディスクドライブ（以下、FDDと称する）等からなり、ケーブル103aによってロボット1と電気的に接続されている。制御装置103は、ロボット1に内蔵されたエンコーダが検出した各回転軸1c1～1c4の角度から塗装ガン2先端の位置およびロボット1の姿勢を求め、教示によって与えられた座標位置を塗装ガン2先端が通過するように、ロボット1の動作を制御する。また、制御装置103は、手元操作装置4と組み合わせてオンライン教示装置としても使用される。

【0005】手元操作装置4は、入力用キーと非常停止ボタンと出力用液晶表示装置等を有する入出力装置である。オペレータは、手元操作装置4を操作して、ロボット1に対する動作の指示、教示データの再生、各アーム1a、1bの長さやアーム1bの先端から塗装ガン2先端までの距離等のロボット1固有のデータ管理等を行うことができる。オフライン教示装置104は、CPU、ROM、RAMの他にディスプレイ、キーボード、FDD等を有し、ロボット1や制御装置103との間にケーブル等の信号伝送手段を持たないコンピュータシステムである。オフライン教示装置104は、上記ROMにロボット教示用の専用ソフトウェアを有し、これによってオペレータは、実際にロボット1を動かすことなく、動作の教示やシミュレーションを行うことが可能である。

【0006】制御装置103および手元操作装置4を用いたオンライン教示は、以下に述べる①～④の手順で行われる。

①：オペレータは、塗装作業の対象物（以下、ワークと称する）を塗装範囲内に設置する。また、ワークを配置する手段としてワーク供給装置やコンベアライン等が使用される場合もあり、この場合、上記ワーク供給装置やコンベアラインを設置後、これらの装置によって配置されるワークが塗装範囲内に正しく収まるようにロボットを設置する必要がある。

②：オペレータは、PTP（Point To Point）またはCP（Continuous Pass）等の方法で、塗装ガン2先端が移動する軌道（以下、塗装軌道と称する）やロボット1の姿勢を教示する。

③：オペレータは、塗装ガン2の移動速度、塗料を吐出する位置、塗装色の切り替え、塗装の霧化のパターン、空吹きによるクリーニング等の教示条件を設定する。

④：オペレータは、上記ワーク供給装置が出力するワーク設置完了信号、あるいはコンベアラインが出力する追従信号に対してロボット1が行うロボット1の動作を教示する。

【0007】オフライン教示は、上記オンライン教示と

同様の教示手順を、実際にロボット1を動作させることなく、オフライン教示装置104を用いて行う教示方法である。作成された教示データは、オフライン教示装置104内蔵のFDDでフロッピディスクに保存され、制御装置103内蔵のFDDで制御装置103へ読み込まれる。オフライン教示の場合、オペレータは、実際にロボット1を動作させることなく教示が可能であるので、教示作業のためにロボット1や工場のライン等の塗装作業を停止させることなく教示を行うことができる。また、オフライン教示では、オペレータは、教示データを基にロボット1の動作のシミュレーションを行うことにより、教示時に塗装品質の予測、確認が可能である。

【0008】オンライン教示またはオフライン教示によって教示データが作成されると、オペレータは、制御装置103の動作モードを再生モードにセットし、教示データを再生させ、ロボット1に実際に塗装作業を行わせてみる。このとき、オペレータは、塗装軌道、ワークに対する塗料の付着量や塗りむら等の塗装品質などを確認し、塗装軌道や塗装品質に問題がなければ、教示作業を終了する。しかし、1度目の教示で、オペレータが意図した通りの塗装軌道や塗装品質が得られることは希であり、塗装軌道や塗装品質等に問題がある場合には、オペレータは、ロボット1の動作終了後、制御装置103の動作モードを再び教示モードにセットし、教示点の教示および塗装条件の設定をやり直す。

【0009】特に、オフライン教示の場合、オフライン教示装置104の画面上におけるチェックであり、3次元の動作を厳密に確認することができない。そのため、オペレータは、その教示データを用いてロボットに再生動作を行わせながら、現物合わせで少しづつ修正を繰り返し、各ロボットシステムに適切な教示データを生成する。あるロボットシステムに対して教示された教示データを、別のロボットシステムに転送し利用する場合も同様の作業が必要となる。このように通常は「教示→塗装軌道および塗装品質を確認するために再生→教示データを修正するために再教示」といった手順を何度も繰り返さなければ、満足のいく塗装品質が得られない場合が多い。

【0010】また、教示データの再生によって得られる塗装軌道が塗装範囲を越える場合には、その越える量が僅かな場合であっても、制御装置103は教示データを再生不能と判断し、即座にロボット1の動作を停止する。その後、オペレータは、塗装軌道が塗装範囲内にはいるように、リモート操作で教示データの修正を行う。さらに、ロボット1の動作速度が不十分なために塗装軌道が大幅に崩れた場合、制御装置103はロボット1の動作を停止する。また、目標または指令する速度に対して、実際の動作速度が遅い場合、制御装置103は、そのままロボット1を動作させるか、あるいは、ロボット1の性能に合わせて速度を変更する。

#### 【0011】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述した従来のロボットの制御装置を用いて教示を行うときには、以下に述べるような欠点があった。

①上記のワーク供給装置を用いず、人手でワークを配置する場合、オペレータは、ロボットの動作の基準となる原点からワークまでの距離を実測したり、目測で大体の見当をつけながら、塗装範囲内にきちんと収まるようにワークを設置しなくてはならなかった。そのため、塗装範囲が狭い場合やワークが大きい場合には、ワークが塗装範囲内に完全に収まっているなかったり、オーバースプレー時の塗装軌道が塗装範囲からはみ出してしまうことが頻繁に起こり、その度にワークの設置および教示作業をやり直していたので、教示作業に多大な時間と高い教示技術を要していた。

【0012】②リモート教示において、オペレータが実際にロボットを操作しながら教示データの修正を行う場合、教示および再生の繰り返しが多くなると、オペレータは動作中のロボットの近くで長時間の教示作業を行うことになる。そのため、オペレータは、気のゆるみや疲労等から操作ミスを起こしやすくなり、教示データの誤消去や操作ミス等を引き起こす恐れがあった。

③教示時に指定した速度に対して、ロボットが実際に出せる動作速度、つまり該ロボットの性能が低い場合、そのままロボットを動作させると、教示データに対して塗装軌道の精度が低下し、そのため塗装品質が著しく低下した。また、再生時にロボットの性能に合わせて動作速度を自動的に変更すると、塗装面上での塗料の分量が変化し、塗りむらが生じるという欠点があった。

【0013】④教示および再生の繰り返し回数が多くなると、再生時の塗装試験に使用される塗料やサンプルワークの量も多くなり、塗装試験の費用が大きくなるという欠点があった。

この発明は、このような背景の下になされたもので、ロボットの性能を考慮しながら、オペレータに対してワークの最適な配置位置を指示することができるロボットの制御装置を提供することを目的とする。

#### 【0014】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の発明は、複数の回転軸によって動かされるアームの先端に設けられた作業具を用いて所定の作業を行うロボットを制御するロボットの制御装置において、前記複数の回転軸のそれぞれを、前記ロボットの機械的構造によって決定される最大回転範囲に渡って回転させることにより、前記作業具の最大到達領域を求める演算手段と、前記演算手段からの出力により前記最大到達領域の輪郭に沿って前記ロボットを作動させる作動範囲を報知する報知手段とを具備することを特徴としている。

【0015】請求項2記載の発明は、請求項1記載のロボットの制御装置において、前記最大到達領域を記憶す

る記憶手段と、前記作業具が所定の移動方向へ所定の移動距離だけ移動するように前記ロボットに移動指令を与える指令手段と、前記移動指令の実行による前記作業具の移動前に、前記作業具の移動先となる予定位置が前記最大到達領域内にあるか否かを判断する判断手段と、前記予定位置が前記最大到達領域の外にある場合、前記作業具の現在位置を前記移動方向とは異なる所定の方向へ前記移動距離とは異なる所定の距離だけ移動させてから、前記移動方向を変更させる移動方向変更手段とを具備することを特徴としている。

【0016】請求項3記載の発明は、ロボットのアームの先端に設けられた作業具を軌道データに従って移動させることで、所定の作業を行うロボットを制御するロボットの制御装置において、前記軌道データのうち前記ロボットの座標系における各軸方向の最大値および最小値を示す点を求め、該軌道データを、これらの点を通り各軸に平行な直線で囲まれた形状を表す変換データに変換するデータ変換手段と、前記変換データの各辺に対し、前記作業具の最大到達領域からはみ出している部分の長さの該辺の全長に対する割合である動作領域比率を求める演算手段と、前記変換データの各辺のうち、対応する前記動作領域比率が最も大きい辺である動作領域比率最大辺を選択する選択手段と、前記動作領域比率最大辺が一つの場合には、該動作領域比率最大辺が対向する辺に向かう方向へ前記変換データを平行移動させ、前記動作領域比率最大辺が前記変換データの対向する辺である場合には、前記変換データの中心点を中心として前記変換データを回転させる修正手段と、前記変換データが前記最大到達領域内に完全に収まるまで、前記演算手段には前記変換データの各辺に対して前記動作領域比率を求めさせ、前記選択手段には動作領域比率最大辺を求めさせ、前記修正手段には前記動作領域比率最大辺の個数に従って前記変換データを平行移動または回転させる制御手段とを具備することを特徴としている。

【0017】請求項4記載の発明は、ロボットアームの先端に設けられた作業具を、前記作業具を移動させることができる領域である最大到達領域内において移動させ、所定の作業を行うロボットを制御するロボットの制御装置において、前記最大到達領域内に前記作業具の作業の対象となるワークを所定の半径の円弧上を移動させながら供給するターンテーブルと、作業時における前記ワークに対する前記作業具の軌道を示す軌道データについて、前記軌道データのうち前記ロボットの座標系における各軸方向の最大値および最小値を示す点を求め、該軌道データを、これらの点を通り各軸に平行な直線で囲まれた形状を表す変換データに変換するデータ変換手段と、前記変換データの各辺に対し、前記最大到達領域からはみ出している部分の長さの該辺の全長に対する割合である動作領域比率を求める演算手段と、前記変換データの各辺のうち、対応する前記動作領域比率が最も大

きい辺である動作領域比率最大辺を選択する選択手段と、前記変換データの全ての辺の前記動作領域比率が等しい場合には、前記変換データを前記円弧の中心点を中心として移動させ、前記動作領域比率最大辺が前記変換データの隣合う二つの辺である場合には、前記変換データを前記円弧の中心点を中心として前記2つの動作領域比率最大辺が作る頂点が該頂点の対頂点へ向かう方向へ所定の角度だけ移動させる修正手段と、前記変換データが前記最大到達領域内に完全に収まるまで、前記演算手段には前記変換データの各辺に対して前記動作領域比率を求めさせ、前記選択手段には動作領域比率最大辺を求めさせ、前記修正手段には前記動作領域比率最大辺の個数に従って前記変換データを移動または回転させる制御手段とを具備することを特徴としている。

【0018】請求項5記載の発明は、複数の回転軸で連結されたロボットアームの先端に設けられた作業具を移動させ、所定の作業を行うロボットを制御するロボットの制御装置において、前記作業具の移動時において、前記複数の回転軸のそれぞれに対して角速度を求める角速度算出手段と、前記複数の回転軸の前記角速度を該回転軸の最大角速度で割った値である角速度比を、前記複数の回転軸のそれぞれについて求める角速度比算出手段と、前記複数の回転軸のそれぞれの前記角速度比のうち、最大の角速度比を選択し、該最大の角速度比を角速度能力値とする角速度能力値選択手段と、前記作業具の最大到達領域内の各座標点に対して、前記角速度能力値が所定の値以上であるか否かを判断する角速度能力値判断手段と、前記所定の値以上の前記角速度能力値を示す座標点によって構成される領域である角速度能力領域を表示する角速度能力領域表示手段と、前記角速度能力領域の内部と外部との境界線に沿って前記作業具を移動させる角速度境界移動手段とを具備することを特徴としている。

【0019】請求項6記載の発明は、複数の回転軸で連結されたロボットアームの先端に設けられた作業具を移動させ、所定の作業を行うロボットを制御するロボットの制御装置において、前記作業具の移動時において、前記複数の回転軸のそれぞれに対して角加速度を求める角加速度算出手段と、前記複数の回転軸の前記角加速度を該回転軸の最大角加速度で割った値である角加速度比を、前記複数の回転軸のそれぞれについて求める角加速度比算出手段と、前記複数の回転軸のそれぞれの前記角加速度比のうち、最大の角加速度比を選択し、該最大の角加速度比を角加速度能力値とする角加速度能力値選択手段と、前記作業具の最大到達領域内の各座標点に対して、前記角加速度能力値が所定の値以上であるか否かを判断する角加速度能力値判断手段と、前記所定の値以上の前記角加速度能力値を示す座標点によって構成される領域である角加速度能力領域を表示する角加速度能力領域表示手段と、前記角加速度能力領域の内部と外部と

の境界線に沿って前記作業具を移動させる角加速度境界移動手段とを具備することを特徴としている。

【0020】

【作用】請求項1記載の発明によれば、演算手段は複数の回転軸のそれぞれを、ロボットの機械的構造によって決定される最大回転範囲に渡って回転させることにより、作業具の最大到達領域を求め、報知手段は演算手段からの出力により最大到達領域の輪郭に沿ってロボットを作動させる作動範囲を報知する。

【0021】請求項2記載の発明によれば、指令手段は作業具が所定の移動方向へ所定の移動距離だけ移動するようにロボットに移動指令を与える。判断手段は移動指令の実行による作業具の移動前に、作業具の移動先となる予定位置が最大到達領域内にあるか否かを判断する。移動方向変更手段は予定位置が最大到達領域の外にある場合、作業具の現在位置を移動方向とは異なる所定の方向へ移動距離とは異なる所定の距離だけ移動させてから、移動方向を変更させる。

【0022】請求項3記載の発明によれば、選択手段は変換データの各辺のうち、対応する動作領域比率が最も大きい辺である動作領域比率最大辺を選択する。修正手段は、動作領域比率最大辺が一つの場合には、該動作領域比率最大辺が対辺へ向かう方向へ変換データを平行移動させ、動作領域比率最大辺が変換データの対向する辺である場合には、変換データの中心点を中心として回転させる。制御手段は、変換データが最大到達領域内に完全に収まるまで、演算手段には変換データの各辺に対して動作領域比率を求めさせ、選択手段には動作領域比率最大辺を求めさせ、修正手段には動作領域比率最大辺の個数に従って変換データを平行移動または回転させる。

【0023】請求項4記載の発明によれば、選択手段は、変換データの各辺のうち、対応する動作領域比率が最も大きい辺である動作領域比率最大辺を選択する。修正手段は変換データの全ての辺の動作領域比率が等しい場合には、変換データを円弧の中心点を中心として移動させ、動作領域比率最大辺が変換データの隣合う二つの辺である場合には、変換データを円弧の中心点を中心として2つの動作領域比率最大辺が作る頂点が該頂点の対頂点へ向かう方向へ所定の角度だけ移動させる。制御手段は、変換データが最大到達領域内に完全に収まるまで、演算手段には変換データの各辺に対して動作領域比率を求めさせ、選択手段には動作領域比率最大辺を求めさせ、修正手段には動作領域比率最大辺の個数に従って変換データを平行移動または回転させる。

【0024】請求項5記載の発明によれば、角速度算出手段は複数の回転軸のそれぞれに対して角速度を求める、角速度比算出手段は複数の回転軸の角速度を該回転軸の最大角速度で割った値である角速度比を、複数の回転軸のそれぞれについて求める。角速度能力値選択手段は、複数の回転軸のそれぞれの角速度比のうち、最大の角速

度比を選択し、該最大の角速度比を角速度能力値とする。角速度能力値判断手段は、最大到達領域内の各座標点に対して、角速度能力値が所定の値以上であるか否かを判断する。

【0025】請求項6記載の発明によれば、角速度算出手段は複数の回転軸のそれぞれに対して角速度を求める、角速度比算出手段は複数の回転軸の角速度を該回転軸の最大角速度で割った値である角速度比を、複数の回転軸のそれぞれについて求める。角速度能力値選択手段は、複数の回転軸のそれぞれの角速度比のうち、最大の角速度比を選択し、該最大の角速度比を角速度能力値とする。角速度能力値判断手段は、最大到達領域内の各座標点に対して、角速度能力値が所定の値以上であるか否かを判断する。

【0026】

【実施例】以下、図面を参照して、この発明の実施例について説明する。尚、以下の説明において $(d/dx)$ は $x$ について1回微分することを、 $(d/dx)^2$ は $x$ について2回微分することを示す。例えば、 $(d/dx)y$ は $y = f(x)$ を $x$ について1回微分し、 $(d/dx)^2y$ は $y = f(x)$ を $x$ について2回微分することを示す。

【0027】図1はこの発明の一実施例によるロボットの制御装置の構成および他の要素との関わりを示すブロック図である。CPU(中央処理装置)11は、ROM(リードオンリメモリ)12に記憶された制御プログラムに従って、RAM(ランダムアクセスメモリ)13を用いて処理を行うことにより、制御装置3の各部を制御する。また、CPU11は、タイマ15から所定のサンプリング間隔ごとに入力されるパルス信号を基準として、ROM12からロボット1を制御するための制御プログラムを、RAM13から教示点や塗装条件を読み出し、塗装ガン2先端の移動量および移動速度を計算する。CPU11は、FDD14を用いてRAM13に記憶されている内容をフロッピディスクに保存することができる。塗装ガン2先端の軌道が大幅にずれたり、ロボット1に異常が発生した場合には、CPU11はスピーカ16から警告音を鳴らす。これによって、オペレータは危険と異常を知ることができる。

【0028】動作範囲指示装置17は、塗装ガン2先端を塗装範囲の外縁に沿って移動させる動作範囲指示処理(図6~図9参照)を行う。また、動作範囲指示装置17は、手元操作装置4からの入力を常に監視しており、オペレータが非常停止キーを押すと、動作範囲指示装置17は上記動作範囲指示処理を中止し、直ちにロボット1を停止させる。

【0029】ロボット1の各回転軸1c1~1c4にはサーボモータ19およびエンコーダ20が内蔵されている。CPU11が計算した塗装ガン2の移動量および移動速度は、モータドライバ18で角速度および回転角度に変換され、サーボモータ19へ送られる。サーボモ

タ19は、図示しない減速機を介して、各回転軸1c1～1c4を上記角速度で上記回転角度だけ回転させ、アーム1aおよび1bを駆動する。エンコーダ20は、上記減速器の減速比が比較的大きい場合であっても、各回転軸1c1～1c4に内蔵されたサーボモータ19の回転角度と角速度の検出できる。CPU11は、エンコーダ20が検出した角速度および回転角度をモータドライバ18を介して取り込み、アーム1a, 1bの姿勢や、塗装ガン2先端の座標を計算する。

【0030】図2は制御装置3を用いた塗装用ロボットシステムの構成例を示す斜視図である。この図において、図49の各部に対応する部分には同一の符号を付け、その説明を省略する。この図に示す塗装用ロボットシステムにおいては、制御装置103に代えて制御装置3が新たに設けられている。また、本発明はオンライン教示に使用される制御装置であるので、対応する構成品を持たないオフライン教示装置104(図49参照)の図示は省略する。

【0031】次に、図3を用いて本実施例で使用されるロボット1のロボットベース座標系と数学モデルについて説明する。ロボットベース座標形は、図3に示す点o

$$x = r_1 \cos \theta_1 + r_2 \cos \theta_2 + r_3 \cos (\theta_2 + \theta_3) - r_6 \sin \theta_4 \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$y = r_2 \sin \theta_2 + r_3 \sin (\theta_2 + \theta_3) + r_5 \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

$$z = -r_1 \sin \theta_1 - r_4 - r_6 \cos \theta_4 \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

$$\alpha = \theta_4 \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

のようく表される。

【0034】上記の式(1)～(4)より、各回転軸1c1～1c4の角度( $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ )と塗装ガン2の先端の座標(x, y, z)および回転角度 $\alpha$ とは1対1に対応し合っていることが分かる。このように上記の式(1)～(4)を用いて、各回転軸1c1～1c4の角度( $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ )から塗装ガン2の先端の

を原点とし、互いに直行したx軸、y軸、z軸からなる直交座標系である。回転軸1c1は $\theta_1$ 方向に回転し、図3に示す平行リンク1dを介して、アーム1aを上下に動かす。平行リンク1dのr1が床面と平行になったとき(アーム1a, 1bはスカラ型なので常に床面と平行)の回転軸1c1の角度を $\theta_1=0^\circ$ とする。平行リンク1dの一端に設けられた回転軸1c2は $\theta_2$ 方向に回転し、アーム1aを左右に動かす。アーム1aがzx平面上にあるときの回転軸1aの角度を $\theta_2=0^\circ$ とする。

【0032】アーム1aの他端に設けられた回転軸1c3は $\theta_3$ 方向に回転し、アーム1bを左右に動かす。アーム1bがアーム1aと一直線になったときの回転軸1bの角度を $\theta_3=0^\circ$ とする。アーム1bの先端に設けられた回転軸1c4は $\theta_4$ 方向に回転し、塗装ガン2先端の向きを変化させる。塗装ガン2先端が鉛直方向に下を向いたときの回転軸1c4の角度を $\theta_4=0^\circ$ する。

【0033】また、各回転軸4間の距離を図3に示す $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$ のように定義すると、塗装20ガン2の先端の座標(x, y, z)および回転角度 $\alpha$ は、

$$x = r_1 \cos \theta_1 + r_2 \cos \theta_2 + r_3 \cos (\theta_2 + \theta_3) - r_6 \sin \theta_4 \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$y = r_2 \sin \theta_2 + r_3 \sin (\theta_2 + \theta_3) + r_5 \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

$$z = -r_1 \sin \theta_1 - r_4 - r_6 \cos \theta_4 \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

$$\alpha = \theta_4 \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

座標(x, y, z)および回転角度 $\alpha$ を求めるのを運動学変換といふ。逆に、上記の式(1)～(4)を次式(5)～(16)に示すように変形することによって、30塗装ガン2の先端の位置(x, y, z,  $\alpha$ )から各回転軸1c1～1c4の角度( $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ )を求めるのを逆運動学変換といふ。

【数1】



する図7および図8に示す処理を行い、目標値（図5の $\theta_{i\text{ref}}$ 、但し $i=1 \sim 4$ ）を算出し、ステップSA3へ進む。ステップSA3では、ステップSA1で読み込んだ位置フィードバック値 $\theta_{if}$ とステップSA2で求めた目標値 $\theta_{i\text{ref}}$ を基に速度指令値（図5の $u_{ik}$ 、但し $i=1 \sim 4$ ）を算出し、ステップSA4へ進む。ステップSA4では、モータドライバ18へ速度指令値 $u_{ik}$ を出力した後、一例の処理を終了する。この処理は前述のように10 msecごとに繰り返される。

$$\phi = (-\pi/2) - (\theta_2 + \theta_3)$$

また、以下に示す $\Delta\theta_i$ （但し $i=1 \sim 3$ ）の値は5°であるとする。

【0040】動作範囲指示装置17の処理が、図6に示すステップSA2へ進むと、該処理は更に図7のステップSB1へ進む。ステップSB1では、回転軸1c1の目標値 $\theta_{1\text{ref}}$ に、その最大角度 $\theta_{1\text{max}}$ を代入し、ステップSB2へ進む。ステップSB2では、該目標値 $\theta_{1\text{ref}}$ が、その最小角度 $\theta_{1\text{min}}$ より小さい間、ステップSB3からステップSB14の処理を繰り返す。ステップSB3およびSB4では、回転軸1c3の目標値 $\theta_{3\text{ref}}$ および回転軸1c2の目標値 $\theta_{2\text{ref}}$ に、それぞれの最大角度 $\theta_{3\text{max}}$ および最大角度 $\theta_{2\text{max}}$ を代入し、ステップSB5へ進む。

【0041】ステップSB5では、回転軸1c2の目標値 $\theta_{2\text{ref}}$ が、その最小角度 $\theta_{2\text{min}}$ より大きい間、ステップSB6の処理を繰り返す。ステップSB6では、回転軸1c2の目標値 $\theta_{2\text{ref}}$ から $\Delta\theta_2$ を引く。ステップSB5において、回転軸1c2の目標値 $\theta_{2\text{ref}}$ が、その最小角度 $\theta_{2\text{min}}$ 以下になるとステップSB7へ進む。ステップSB7では、回転軸1c2の目標値 $\theta_{2\text{ref}}$ に、その最小角度 $\theta_{2\text{min}}$ を代入し、ステップSB8へ進む。ステップSB8では、回転軸1c3の目標値 $\theta_{3\text{ref}}$ が、その最小角度 $\theta_{3\text{min}}$ より大きく、かつ、回転軸1c2と回転軸1c3との相対角度 $\phi$ が、その最小角度 $\phi_{\text{min}}$ より大きい間、ステップSB9の処理を繰り返す。ステップSB9では、回転軸1c3の目標値 $\theta_{3\text{ref}}$ から $\Delta\theta_3$ を引く。ステップSB8において、回転軸1c3の目標値 $\theta_{3\text{ref}}$ が、その最小角度 $\theta_{3\text{min}}$ 以下となるか、あるいは、回転軸1c2と回転軸1c3との相対角度 $\phi$ が、その最小角度 $\phi_{\text{min}}$ 以下になると、図8に示すステップSB10へ進む。

【0042】ステップSB10では、回転軸1c2の目標値 $\theta_{2\text{ref}}$ が、その最大角度 $\theta_{2\text{max}}$ より小さい間、ステップSB11の処理を繰り返す。ステップSB11では、回転軸1c2の目標値 $\theta_{2\text{ref}}$ に $\Delta\theta_2$ を加える。ステップSB10において、回転軸1c2の目標値 $\theta_{2\text{ref}}$ が、その最大角度 $\theta_{2\text{max}}$ 以上になると、ステップSB12へ進む。ステップSB12では、回転軸1c3の目標値 $\theta_{3\text{ref}}$ が、その最大角度 $\theta_{3\text{max}}$ より小さい間、ステップSB13の処理を繰り返す。ステップSB13では、

【0039】続いて、図6のステップSA2に示した処理、すなわち、動作範囲指示装置17が各回転軸1c1～1c4の目標値 $\theta_{i\text{ref}}$ を生成する処理について、図7および図8に示すPAD図を参照して説明する。ここで、各回転軸1c1～1c4の最大角度 $\theta_{i\text{max}}$ 、最小角度 $\theta_{i\text{min}}$ 、および、回転軸1c2と回転軸1c3との相対角度 $\phi$ の最大角度、最小角度は、ロボット1の仕様によってあらかじめ決定されている。尚、上記相対角度 $\phi$ は次に示す式（17）を用いて計算することができる。

$$\dots \quad (17)$$

回転軸1c3の目標値 $\theta_{3\text{ref}}$ に $\Delta\theta_3$ を加える。ステップSB12において、回転軸1c3の目標値 $\theta_{3\text{ref}}$ が、その最大角度 $\theta_{3\text{max}}$ 以上になると、ステップSB14へ進む。ステップSB14では、回転軸1c1の目標値 $\theta_{1\text{ref}}$ から $\Delta\theta_1$ を引き、ステップSB2へ戻る。ステップSB2において、回転軸1c1の目標値 $\theta_{1\text{ref}}$ が、その最小角度 $\theta_{1\text{min}}$ 以上になると一例の処理を終了する。

【0043】尚、図7および図8に示した $\Delta\theta_i$ （但し $i=1 \sim 3$ ）の値は5°であるとしたが、 $\Delta\theta_i$ の値は任意の値に設定することができる、この値を大きくすれば、塗装範囲の外縁を描くときの塗装ガン2先端の移動速度は上がる。

【0044】図6～図8に従って処理を行う場合、動作範囲指示装置17が回転軸1c1を $\theta_{1\text{min}} \sim \theta_{1\text{max}}$ に渡って5°ずづ回転させるのに従って、塗装ガン2先端はz軸方向に移動するので、複数の高さのxy平面において塗装範囲の外縁を示すことになる。しかし、実際の教示では、塗装の対象となるワークの高さに合わせて、特定の高さのxy平面上の塗装範囲のみが必要となる場合が多い。この場合、オペレータが、手元操作装置4を用いて、塗装範囲を求めるxy平面の高さを指定した後、動作範囲指示装置17に上記処理の開始を指示すると、動作範囲指示装置17は、図7に示すステップSB1およびSB2の処理を行わず、任意の $\theta_i$ に対してステップSB3～SB14を1度だけ実行する。

【0045】次に、動作範囲指示装置17が、塗装ガン2先端を塗装範囲の外縁に沿って移動させながら塗料を吐出させ、塗装範囲の外縁を床面に描かせる処理について図6および図9に示すPAD図を参照しながら説明する。尚、塗装ガン2先端と床面との距離が大きすぎる場合には、オペレータは塗装ガン2先端延長用の治具等を用いて塗装ガン2先端を床面に近づける。尚、図6に示すPAD図の各ステップで行われる処理の説明は、既に述べてあるので省略する。オペレータが上記処理の開始を指示すると、動作範囲指示装置17は、図6に示すステップSA1を経てステップSA2へ進み、更にステップSA2で図9に示す処理へ進む。

【0046】図9に示す処理は、ステップSC1およびSC13で塗装ガン2から塗料の吐出を開始および停止することを除くと、図7および図8のステップSB3～

S B 1 3 に示した処理と同じものであるので、その説明を省略する。尚、アーム 1 b の先端に塗装ガン 2 の代わりに軌道描画用のペンを取り付け、上記ペンが図 9 に示すステップ S C 1 で床面に下ろされ、S C 1 3 で床面から上げられることによって、塗装ガン 2 先端の軌道を床面に描くことも考えられる。

【0047】次に、C P U 1 1 が、塗装範囲の内側において、塗装ガン 2 先端を図 1 0 に示すような軌道で移動させるために、塗装ガン先端位置  $X [0] \sim X [27]$  を求める処理について図 1 1 および図 1 2 に示す P A D 図を参照して説明する。尚、塗装ガン先端位置  $X [t_p]$  は、塗装ガン 2 の座標値 ( $x, y, z$ ) および塗装ガン 2 の向き  $\alpha$  からなる数値の組 ( $x, y, z, \alpha$ ) であり、 $t_p$  は図 1 0 に示した塗装軌道上において塗装ガン 2 先端が移動していく順番を表す。つまり、塗装ガン先端位置  $X [0] \sim X [27]$  が与えられると、制御装置 3 は、塗装ガン 2 先端を、塗装ガン先端位置  $X [0]$  から、 $X [1], X [2] \dots X [26], X [27]$  という順番で移動させる。

【0048】オペレータが上記処理の開始を指示する 20 と、C P U 1 1 は図 1 1 のステップ S D 1 へ進む。ステップ S D 1 では、塗装ガン先端位置  $X [t_p]$  を初期化し、さらにオペレータが手元操作装置 4 から入力した変数  $z$  を R A M 1 3 に読み込み、ステップ S D 2 へ進む。ここで、変数  $z$  とは処理の対象となる  $x, y$  平面の  $z$  軸に沿った位置（本実施例では塗装ガン 2 は床面に向かって塗装を行うので、該床面に平行な面の高さ）を表す。

【0049】ステップ S D 2 では、変数  $i, j, t_p$  に 0 を、 $\Delta j$  に +1 をそれぞれ代入し、また、 $m a\_f$  および  $l\_m a\_f$  を O F F とした後、ステップ S D 3 へ進む。ここで、 $i$  および  $j$  は図 1 0 に示す破線の各交点（以下、参照点と称する）を指定する変数である。また、 $\Delta j$  は参照点を参照していく方向を示す変数であり、 $\Delta j$  が +1 の場合は図 1 0 に示す  $y$  軸の正の方向へ、 $\Delta j$  が負の場合は  $y$  軸の負の方向へ、参照の対象となる参照点をずらしていく、その参照点が塗装ガン先端位置  $X [t_p]$  であるか否かを判定していく。 $m a\_f$  は直前に参照した参照点が塗装範囲内に入っていたか否かを示す変数であり、 $m a\_f$  が O N の場合は、直前に参照した参照点が塗装範囲内に入っていたことを、O F F の場合は入っていないことを示す。また、 $l\_m a\_f$  は 2 つ前に参照した参照点を対象とする事を除くと、 $m a\_f$  と同じ変数である。

【0050】ステップ S D 3 では、参照点の位置を示す座標 ( $x, y$ ) のうちの  $x$  に 0 を代入し、ステップ S D 4 へ進む。ステップ S D 4 では、 $x$  が図 1 0 に示す  $x_{max}$  以下の間、ステップ S D 5 からステップ S D 1 7 までの処理を繰り返す。ステップ S D 5 では、 $y$  に  $y_{min} + \Delta y \times j$  を、 $x$  に  $x_{min} + \Delta x \times i$  を代入し、座標 ( $x, y$ ) を参照点とし、ステップ S D 6 へ進む。ステ

ップ S D 6 では、上述した逆運動学変換を用いて、塗装ガン 2 先端が上記参照点にあるときの各回転軸  $1 c_1 \sim 1 c_4$  の角度 ( $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ ) を求め、ステップ S D 7 へ進む。ステップ S D 7 では、上記の式 (17) を用いて回転軸  $1 c_2$  と回転軸  $1 c_3$  との相対角度  $\phi$  を求め、ステップ S D 8 へ進む。

【0051】ステップ S D 8 では、ステップ S D 6 で求めた各回転軸の角度およびステップ S D 7 で求めた相対角度  $\phi$  について、それぞれの角度が、ロボット 1 の仕様によって決定される回転範囲内にあるか否かを判断する。この判断結果が「Y E S」の場合には、ステップ S D 9 へ進む。ステップ S D 9 では、 $m a\_f$  が O F F であるか否かを判断する。この判断結果が「Y E S」である場合には、ステップ S D 1 0 へ進む。ステップ S D 1 0 では、現在の塗装ガン 2 先端の位置 ( $x, y, z, \alpha$ ) を塗装ガン先端位置  $X [t_p]$  へ代入し、ステップ S D 1 1 へ進む。

【0052】ステップ S D 1 1 では、 $l\_m a\_f$  が O N であるか否かを判断する。この判断結果が「Y E S」 20 である場合には、ステップ S D 1 2 へ進む。ステップ S D 1 2 では、 $x [t_p-1]$  に ( $x - \Delta x, y, z, \alpha$ ) を、 $m a\_f$  に O N を代入し、ステップ S D 1 3 へ進む。一方、ステップ S D 1 1 の判断結果が「N O」の場合には、ステップ S D 1 2 へは進まず、ステップ S D 1 3 へ進む。ステップ S D 1 3 では、 $t_p$  に 1 を加え、 $l\_m a\_f$  に  $m a\_f$  の値を、 $m a\_f$  に O N を代入し、 $i$  に 1 を加え、 $\Delta j$  に -1 を乗じる。一方、ステップ S D 9 の判断結果が「N O」の場合には、ステップ S D 1 4 へ進む。ステップ S D 1 4 では、 $l\_m a\_f$  に  $m a\_f$  を、 $m a\_f$  に O N を代入し、 $j$  に  $\Delta j$  を加える。

【0053】一方、ステップ S D 8 の判断結果が「N O」の場合には、ステップ S D 1 5 へ進む。ステップ S D 1 5 では、 $m a\_f$  が O N であるか否かを判断する。この判断結果が「Y E S」である場合には、ステップ S D 1 6 へ進む。ステップ S D 1 6 では、 $\Delta j$  に -1 を乗じ、 $j$  に  $\Delta j$  を加え、 $y$  に  $y_{min} + \Delta y \times j$  を代入し、( $x, y, z, \alpha$ ) を  $X [t_p]$  へ代入し、 $t_p$  に 1 を加える。次に、 $i$  に 1 を加え、 $x$  に  $x_{min} + \Delta x \times i$  を代入し、( $x, y, z, \alpha$ ) を  $X [t_p]$  に代入し、 $t_p$  に 1 を加える。最後に、 $l\_m a\_f$  に O N を、 $m a\_f$  に O N を代入し、 $t_p$  に 1 を加える。

【0054】一方、ステップ S D 1 5 の判断結果が「N O」の場合には、ステップ S D 1 7 へ進む。ステップ S D 1 7 では、 $l\_m a\_f$  に  $m a\_f$  を代入する。その後、 $m a\_f$  に O F F を代入し、 $j$  に  $\Delta j$  を加える。以上述べたステップ S D 5 ～ S D 1 7 の処理を、ステップ S D 4 において  $x$  が  $x_{max}$  以下である間繰り返す。 $x$  が  $x_{max}$  を越えると、一例の処理を終了する。

【0055】次に、C P U 1 1 が、塗装ガン 2 先端が図

10に示す軌道を描きながら塗装ガン先端位置 $X_{[t]}$ を順番に通過するようにロボット1を動かす処理について図13に示すP A D図を参照して説明する。オペレータが、上記処理の開始を指示すると、図13のステップS E 1へ進む。ステップS E 1では、タイマ15が1.0msecのサンプリング間隔で出力するパルス信号を受信する度に、モータドライバ18の状態、および、各回転軸1c1～1c4の角度フィードバック値をRAM13へ読み込み、ステップS E 2へ進む。ステップS E 2では、塗装ガン先端位置 $X_{[t]}$ をRAM13から読み出し、ステップS E 3へ進む。ステップS E 3では、上記逆運動学変換式(5)～(16)を用いて、塗装ガン先端位置 $X_{[t]}$ より各回転軸1c1～1c4の目標角度を算出し、ステップS E 4へ進む。ステップS E 4では、ステップS E 1で読み込んだ位置フィードバック値 $\theta_{if}$ とステップS E 3で求めた目標角度を基に速度指令値を算出し、ステップS E 5へ進む。ステップS E 5では、モータドライバ18へ速度指令値 $u_{ik}$ を出力した後、一例の処理を終了する。

【0056】次に、図14～図16に示すように長方形のワーク30が塗装範囲31からはみ出している場合に、ワーク30を塗装範囲31の内側に移動させるための方向および移動量を求める、そのワーク30に対する教示データを修正する処理について図17～図19に示すP A D図を参照して説明する。オペレータが上記処理の開始を指示すると、CPU11は図17のステップS F 1へ進む。ステップS F 1では、教示データを図1に示すF DD14から同図に示すRAM13にロードし、ステップS F 2へ進む。ステップS F 2では、ステップS F 1でロードされた教示データを、長方形を示すデータに変換し、ステップS F 3へ進む。具体的には、図20に示すように、教示データが $p_0 \rightarrow p_1 \rightarrow \dots \rightarrow p_n$ という軌道を描くデータである場合には、CPU11は、この教示データを、上記軌道に外接する長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ を示すデータに変換する。

【0057】ステップS F 3では、 $l_{imt\_f}$ をONとし、ステップS F 4へ進む。ここで $l_{imt\_f}$ は、ONである場合には上記長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ が塗装範囲からはみ出していることを、OFFである場合には上記長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ が塗装範囲内に収まっていることを表す。ステップS F 4では、 $l_{imt\_f}$ がONである間、あるいは、ステップS F 5～ステップS F 25までの一連の処理の試行回数が10回以内である間は、ステップS F 5～ステップS F 25の処理を繰り返す。ステップS F 5では、 $h$ の値が0～3である間、ステップS F 6～ステップS F 15の処理を繰り返す。

【0058】ステップS F 6では、 $h$ の値が3であるか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合は、ステップS F 7へ進む。ステップS F 7では、 $X_0$ に $Q_h$ を代入し、 $X_1$ に $Q_{h+1}$ を代入し、ステップS F 9

へ進む。一方、ステップS F 6の判断結果が「NO」の場合、つまり、 $h$ の値が3である場合には、ステップS F 8へ進む。ステップS F 8では、 $X_0$ に $Q_3$ を代入し、 $X_1$ に $Q_0$ を代入し、ステップS F 9へ進む。

【0059】ステップS F 9では、大きさが1である単位ベクトル $e_v$ を求め、ステップS F 10へ進む。この単位ベクトル $e_v$ の向きは、始点が点 $X_0$ 、終点が点 $X_1$ であるベクトルと等しい。ステップS F 10では、 $l_{imc\_hk}$ に0を代入し、ステップS F 11へ進む。ステップS F 11では、点 $X_0$ と点 $X_1$ とを結ぶ辺上の点について、単位ベクトル $e_v$ が示す向きへ、長さ $\Delta_1$ の間隔ごとに、点 $X_0$ から点 $X_1$ まで参照点を移動させ、その各点についてステップS F 12～ステップS F 15の処理を行う。ステップS F 12では、上記逆運動学変換

(5)～(16)を用いて、塗装ガン2先端が参照点にある場合のロボット1の各回転軸1c1～1c4の角度を求め、ステップS F 13へ進む。ステップS F 13では、ステップS F 12で求めた各回転軸1c1～1c4の角度が、それぞれの最小角度 $\theta_{imin}$ および最大角度 $\theta_{imax}$ を越えているか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップS F 14へ進む。ステップS F 14では、 $l_{imc\_hk}$ に1を加え、ステップS F 11へ戻る。ステップS F 11において、参照点が点 $X_1$ に達すると、ステップS F 15へ進む。

【0060】ステップS F 15では、 $l_{imc\_hk}$ に $\Delta_1$ を乗じた値を、点 $X_0$ と点 $X_1$ とを結ぶ辺の長さで割り、ステップS F 16へ進む。ステップS F 16では、長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ の辺のうち、 $l_{imc\_hk}$ の値が最も大きい辺を選択する。その後、最も大きい $l_{imc\_hk}$ の値を1として、他の3つの $l_{imc\_hk}$ の値を正規化し、ステップS F 17へ進む。ステップS F 17では、各辺に対応する $l_{imc\_hk}$ の値に応じて、条件分岐を行う。図14(a)に示すように、辺 $Q_0 Q_1$ と辺 $Q_2 Q_3$ が塗装範囲からはみ出す場合、つまり、 $l_{imc\_hk}$ [0]と $l_{imc\_hk}$ [2]が共に1である場合には、ステップS F 18へ進む。ステップS F 18では、図14(a)に示すように長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ の対角線の交点Gを中心として長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ を90°回転させる。

【0061】また、ステップS F 17の条件分岐において、図14(b)に示すように、長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ の全ての辺が塗装範囲からはみ出す場合には、ステップS F 19へ進む。ステップS F 19では、この長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ を塗装範囲の内側に収めることは不可能であり、このロボットシステムを用いて塗装することはできないと判断する。また、ステップS F 17の条件分岐において、図15(a)に示すように、長方形 $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$ の辺のうち、塗装範囲からはみ出す長さが一番大きい辺が辺 $Q_0 Q_1$ である場合、つまり、 $l_{imc\_hk}$

【0】が1である場合には、ステップS F 2 0へ進む。ステップS F 2 0では、図15(a)に示すように、長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>をx軸の負の方向へ $\Delta x$ だけ平行移動させる。

【0062】以下、ステップS F 1 7の条件分岐において、長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>の辺のうち、塗装範囲からはみ出す長さが一番大きい辺が、辺Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>である場合(図15(b)参照)、つまり、l i m \_ c h k [1]が1である場合には、ステップS F 2 1へ進み、ステップS F 2 1では、長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>をy軸の正の方向へ $\Delta y$ だけ平行移動させる。塗装範囲からはみ出す長さが一番大きい辺が、辺Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>である場合(図16(a)参照)、つまり、l i m \_ c h k [2]が1である場合には、ステップS F 2 2へ進み、ステップS F 2 2では、長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>をx軸の正の方向へ $\Delta x$ だけ平行移動させる。塗装範囲からはみ出す長さが一番大きい辺が、辺Q<sub>3</sub>Q<sub>0</sub>である場合(図16(b)参照)、つまり、l i m \_ c h k [3]が1である場合には、ステップS F 2 3へ進み、ステップS F 2 3では、長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>をy軸の負の方向へ $\Delta y$ だけ平行移動させる。

【0063】また、ステップS F 1 7の分岐において、長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>の全ての辺が塗装範囲内に収まっている場合、つまり、l i m \_ c h k [0]～l i m \_ c h k [3]が全て0である場合には、ステップS F 2 4へ進む。ステップS F 2 4では、この長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>は塗装範囲の内側に収まっており、平行移動は行う必要がなく、現在の位置で長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>内の塗装の軌道を全て再生が可能であるとして、l i m i t \_ fにO F Fを代入する。ステップS F 1 7における条件分岐と、各分岐先のステップS F 1 8～S F 2 4における処理を終了すると、ステップS F 2 5へ進む。

【0064】ステップS F 2 5では、ステップS F 5～S F 2 4の一連の処理を行った試行回数をインクリメントし、ステップS F 4へ戻る。ステップS F 4において、l i m i t \_ fがO F F、または、上記試行回数が10回になると、ステップS F 2 6へ進む。ステップS F 4～S F 2 5に示す処理の結果、ステップS F 5～S F 2 5で行った最大10回の平行移動または回転移動にもかかわらず長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>が塗装範囲の外にはみ出している場合には、l i m i t \_ fはONである。また、長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>が塗装範囲の中に収まりきった場合には、l i m i t \_ fはO F Fとなる。

【0065】ステップS F 2 6では、l i m i t \_ fがONであるか否か、あるいは、長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>が大きすぎて塗装範囲の中に収まりきらないか否かを判断する。この判断において、l i m i t \_ fがON、あるいは、長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>が大きすぎると判断された場合には、ステップS F 2 7へ進む。ステップS F 2 7では、手元操作装置4に設けられた液晶表示装置に図21

に示すように「ワークガ オオキスギマス」というメッセージを出力する。一方、ステップS F 2 6の判断において、l i m i t \_ fがO F Fであり、かつ、長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>が大きすぎると判断されていない場合には、ステップS F 2 8へ進む。ステップS F 2 8では、教示データを、ワーク移動後の教示データに変換し、ステップS F 2 9へ進む。ステップS F 2 9では、手元操作装置4に設けられた液晶表示装置に「キヨウジデータ ノ ヘンカンカンリョウ」というメッセージを出力する。

10 さらに、この変換された教示データを用いてロボット1を動かし、オペレータに対し、新しい塗装の軌道を示した後、一例の処理を終了する。

【0066】ところで、塗装ガン2先端から吐出される塗料は、ある程度の範囲に広がって吹き付けられるので、図22に示すように、塗装範囲3 1に対して、教示データを変換した上記長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>のはみ出している部分の面積が微小である場合には、塗装の品質には影響を及ぼさない場合がある。このような場合には、長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>が塗装範囲からはみ出している場合であっても、図18のステップS F 1 8およびS F 2 0～S F 2 3に示した回転または平行移動処理を行う必要がなく、現在の教示データを補正するだけで良い。このような場合における教示データの補正方法について図23および24に示すP A D図を参照して説明する。

【0067】オペレータが上記処理の開始を指示すると、C P U 1 1の処理は図23のステップS G 1へ進む。ステップS G 1およびS G 2の処理は、上述したステップS F 1およびS F 2(図17参照)に示した処理と同じものである。ステップS G 3では、hの値が0～3である間、ステップS G 4～S G 1 5の処理を繰り返す。ステップS G 4では、長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>の頂点Q<sub>h</sub>へ塗装ガン2先端を移動させ、そのときのロボット1の姿勢における各回転軸1 c 1～1 c 4の角度 $\theta_1$ ～ $\theta_4$ を求め、l i m i t \_ fにO F Fを代入し、ステップS G 5へ進む。この時、上記逆運動学変換式(5)～(16)を用いても角度 $\theta_1$ ～ $\theta_4$ を求めることができない場合には、図22に示すように、長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>の辺Q<sub>3</sub>Q<sub>0</sub>と塗装範囲外縁との交点をQ' <sub>0</sub>とし、辺Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>と塗装範囲外縁との交点Q' <sub>1</sub>とし、このQ' <sub>h</sub>(h=0, 1)に塗装ガン2先端を移動させたときのロボット1の姿勢における各回転軸1 c 1～1 c 4の角度 $\theta_1$ ～ $\theta_4$ を求める。この場合、長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>の頂点の位置を補正したので、l i m i t \_ fをONする。

【0068】ステップS G 5では、iの値が1～4である間、ステップS G 6～S G 9の処理を繰り返す。ステップS G 6では、ステップS G 4で求めた $\theta_1$ がその最大角度 $\theta_{i\max}$ より大きいか否かを判断する。この判断結果が「Y E S」の場合には、ステップS G 7へ進む。ステップS G 7では、l i m i t \_ fにONを代入し、 $\theta_i$ に $\theta_{i\max}$ を代入し、ステップS G 1 0へ進む。一方、

ステップ SG 6 の判断結果が「NO」の場合には、ステップ SG 8 へ進む。ステップ SG 8 では、ステップ SG 4 で求めた  $\theta_i$  がその最小角度  $\theta_{\min}$  より小さいか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップ SG 9 へ進む。ステップ SG 9 では、`limit_f` に ON を代入し、 $\theta_i$  に  $\theta_{\min}$  を代入し、ステップ SG 10 へ進む。

【0069】ステップSG10では、limit\_fがONであるか否かを判断する。この判断結果が「YE

【0070】ステップSG13では、 $\Delta q$ が所定の値 $\varepsilon$ より小さいか否かを判断する。 $\varepsilon$ はオペレータが手元操作装置4を用いて、あらかじめ制御装置3内のRAM13に設定してある値である。本実施例では、 $\varepsilon = 50\text{ cm}$ とする。ステップSG13の判断結果が「YES」である場合には、ステップSG14へ進む。ステップSG14では、 $Q_h$ に $Q_h'$ を代入し、ステップSG3へ戻る。一方、ステップSG13の判断結果が「NO」の場合には、ステップSG15へ進む。ステップSG15では、現在の教示データを再生した場合、高い塗装品質が得られないこと、あるいは、塗装が不可能であることを手元操作装置4の表示部に表示し、ステップSG3へ戻る。ステップSG3において $h$ の値が3を越えると、一例の処理を終了する。

【0071】次に、図25に示すように、ワークがターンテーブルの上に載っており、所定の回転中心Cを中心とする円弧上を移動し、塗装範囲の内側に入ってくる場合を考える。この場合において、ワークを移動させる上記ターンテーブルの回転角度を求める方法、およびその回転によって移動するワークに対する教示データの変換方法について図26～図28に示すPAD図を参照して説明する。オペレータが、上記処理の開始を指示すると、CPU11は図26のステップSH1へ進む。ステップSH1では、ワークの教示データ、および、ターンテーブルの情報をFDD14からRAM13へ読み出し、ステップSH2へ進む。ステップSH2～SH16で行う処理は、図17を参照して説明したステップSF2～SF16の処理と同じものである。ステップSH16に示す処理を終了すると、図27に示すステップSH17へ進む。

【0072】ステップSH17では、各辺に対応する1im\_chk[h]の値に応じて、条件分岐を行う。図25のAに示すように、長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>の全ての辺が塗装範囲からはみ出している場合、つまり、1im\_chk[h]が全て1である場合には、ステップSH18へ進み、ターンテーブルを180°回転させる。また、ステップSH17の条件分岐において、図25のBに示すように、長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>の辺のうち、塗装範囲からはみ出す長さが一番大きい辺が辺Q<sub>3</sub>Q<sub>0</sub>である場合、つまり、1im\_chk[3]が1である場合に

S<sub>1</sub>」の場合には、ステップ SG 1 1へ進む。ステップ SG 1 1では、ロボット1の各回転軸1 c 1～1 c 4の角度がそれぞれステップ SG 6～SG 9にて修正した角度  $\theta_1 \sim \theta_4$  である場合の塗装ガン2先端の位置を求め、その位置を  $Q'_{\text{h}}$  とし、ステップ SG 1 1へ進む。ステップ SG 1 2では、長方形  $Q_0 Q_1 Q_2 Q_3$  の頂点  $Q_{\text{h}}$  と、ステップ SG 1 1で求めた塗装ガン2の位置  $Q'_{\text{h}}$  との距離  $\Delta q$  を次に示す式(18)を用いて求め、ステップ SG 1 3へ進む。

8)

は、ステップSH19へ進み、ターンテーブルを右回り方向へ $\Delta\phi$ 回転させる。同様に、ステップSH17の条件分岐において、図25のCに示すように、長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>の辺のうち、塗装範囲からはみ出す長さが一番大きい辺が辺Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>である場合、つまり、1 i m\_c h k [1] が1である場合には、ステップSH20へ進み、ターンテーブルを左回り方向へ $\Delta\phi$ 回転させる。

【0073】また、図25のDに示すように、長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>の全ての辺が塗装範囲内に入っている場合、つまり  $l_{i, j, m} - a_{i, j, k} [h]$  が全て0である場合に

つまり、`1 i m i t_f` が生じてゐる場合には、ステップ SH 2 1へ進み、ターンテーブルは回転させず、`1 i m i t_f` に OFF を代入する。ステップ SH 1 7における条件分岐と、各分岐先のステップ SH 1 8～SH 2 1における処理を終了すると、ステップ SH 2 2へ進む。ステップ SH 2 2では、ステップ SH 5～SF 2 2の処理を行った試行回数をインクリメントし、ステップ SH 4へ戻る。ステップ SH 4において、`1 i m i t_f` が OFF 、または、ステップ SH 5～SH 2 2の処理を行った試行回数が 10 回より大きいならば、ステップ SH 2 3へ進む。

【0074】ステップSH23では、`limit_f`がONであるか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップSH24へ進む。ステップSH24では、図21に一例を示すようなメッセージを、手元操作装置4の表示部へ出力する。一方、ステップSH23の判断結果が「NO」の場合には、ステップSH25へ進む。ステップSH25では、教示データを、ステップSH18～SH20で求めたターンテーブルの回転角度に基づいて変換し、ステップSH26へ進む。ステップSH26では、ターンテーブルに、ステップSH18～SH20で求めた回転角度を送信する。ステップSH24またはSH26の処理を終了した後、一例の処理を終了する。図25に示すように、ワークがターンテーブルの上に載っており、所定の回転中心Cを中心とする円弧上を移動する場合に、上記図26～図28に示す処理を適用すると、制御装置3はターンテーブルに対しワークの位置の変更を自動的に指示するので、オペレータはワークの位置を厳しく決めて配置する必要はなく、塗装品質が向上する。

【0075】次に、塗装ガン2先端を、塗装範囲内の各

座標点から所定の方向へ  $1\text{ m/sec}$  の速度で移動させる場合に、各回転軸  $1\text{ c }1 \sim 1\text{ c }4$  の最大角速度を移動時の各回転軸  $1\text{ c }1 \sim 1\text{ c }4$  の角速度で割った角速度比を各回転軸  $1\text{ c }1 \sim 1\text{ c }4$  について求め、それらのうち最小の値である角速度能力値を各座標点について求める処理について図2.9に示すPAD図を参照して説明する。尚、これまで示した実施例では、 $z$  軸方向の値を定数  $\omega$  とする特定の  $x$   $y$  平面を対象とする処理について説明してきたが、図2.9に示す処理では、 $z$  軸方向の値も可変とした3次元空間内の全ての座標点を対象とした処理について説明する。

$$e_v = v_v / v_e \approx 1 \dots \dots \dots$$

【0077】ステップS14～S19では、変数iの値を0～1に、変数jの値を0～mに、変数kの値を0～nに変化させていき、それぞれの値を次に示す式(2)

$$x = x_{\min} + \Delta x \times i \quad \dots \dots \dots$$

$$y = y_{\min} + \Delta y \times j \quad \dots \dots$$

$$z = z_{\min} + \Delta z \times k \quad \dots \dots \dots$$

ステップ S I 10 では、上述した逆運動学変換式 (5) ~ (16) を用いて、塗装ガン 2 先端が上記参照点 ( $x, y, z$ ) にある場合の各回転軸 1c1 ~ 1c4 の角度  $\theta_1 \sim \theta_4$  を算出し、ステップ S H 11 へ進む。ステップ S I 11 では、ステップ S I 10 で求めた角度  $\theta_1 \sim \theta_4$  を用いて逆ヤコビ行列  $J_{M^{-1}}$  を求め、ステップ S H 12 へ進む。ここでヤコビ行列  $J_M$  は、上記運動学変換式 (1) ~ (4) を  $\theta_1 \sim \theta_4$  で偏微分した  $4 \times 4$  の行列である。

【0078】ステップS112では、各回転軸1c1～  
 $(d/dt) \theta_M = J_M^{-1} \cdot e_v \quad \dots$

【0079】ステップS113では、各回転軸1c1～1c4について、ステップS112で求めた角速度( $d/d$ )

$$R_i = (d/dt) \theta_{i\max} / (d/dt) \theta_i$$

ステップ S 1 1 4 では、 $R_1 \sim R_4$  のうちの最小値を、上記座標点 ( $x, y, z$ ) における速度能力値として、配列  $v [i, j, k]$  に格納する。以上述べたステップ S 1 1 0 ～ S 1 1 4 の処理を、ステップ S 1 4 ～ S 1 9 でその座標値が求められる全ての参照点 ( $x, y, z$ ) について繰り返した後、一例の処理を終了する。

【0080】次に、速度ベクトル  $v_v$  の大きさ  $v_e$  1 より大きい上記速度能力値を示す座標点の集合を速度能力領域と定義し、該速度能力領域の外縁に沿って塗装ガン2先端を移動させる場合に、制御装置3が塗装ガン2先端を順次通過させていく座標点  $t_c p$  を求める処理について図30～図34に示すPAD図を参照して説明する。尚、図29に示した処理では、z軸方向の値も可変とした3次元空間を対象として処理を行ったが、図30～図34に示す処理では、図35に示すようにzを定数  $\omega$  に固定した所定のx y平面上を対象として処理を行う。

【0081】オペレータが上記処理の開始を指示する

【0076】オペレータが上記処理の開始を指示すると、図29のステップS11へ進む。ステップS11では、オペレータが手元操作装置4を用いて任意の速度ベクトルvvを入力すると、その値をRAM13に読み込み、ステップS12へ進む。ステップS12では、速度ベクトルvvの大きさを求め、その値を変数ve1に代入し、ステップS13へ進む。ステップS13では、速度ベクトルvvと同じ向きであり、かつ、その大きさが1mである方向ベクトルevを次に示す式(19)を用いて算出し、ステップS14へ進む。

(19)

0)～(22)に代入して上記角速度能力値を算出する  
参照点の座標値(x, y, z)を求め、ステップSH1  
0へ進む。

(20)

(21)

(22)

1 c 4 の角速度  $(d/dt) \theta_1$  を次に示す式 (23) を用いて求め、ステップ S H 1 3 へ進む。尚、上述したように  $(d/dx)$  は  $x$  について 1 回微分することを、 $(d/dx)^2$  は  $x$  について 2 回微分することを示す。また、 $(d/dt) \theta_1 = [(d/dt) \theta_1, (d/dt) \theta_2, (d/dt) \theta_3, (d/dt) \theta_4]^T$  であり、 $(d/dt) \theta_1$  は回転軸 1 c 1 の角速度を、 $(d/dt) \theta_2$  は回転軸 1 c 2 の角速度を、 $(d/dt) \theta_3$  は回転軸 1 c 3 の角速度を、 $(d/dt) \theta_4$  は回転軸 1 c 4 の角速度をそれぞれ表している。また、 $J_{W^{-1}}$  は上記ヤコビ行列  $J_W$  の逆行列である。

(23)

30 t)  $\theta$  と、最大角速度  $(d/dt)\theta_{\max}$  との比  $R$  を次に示す式 (24) を用いて求め、ステップ SH 2 4 へ進む。

(但し、 $i = 1 \sim 4$ ) \dots (24)

と、図30のステップSJ1へ進む。ステップSJ1では、 $i_{min}$ 、 $i-1$ 、 $i_{max}$ には1を、 $j_{min}$ 、 $j-1$ 、 $j_{max}$ にはmを、 $i$ 、 $j$ 、 $i_{max}$ 、 $j_{max}$ 、 $i-1$ 、 $i_{min}$ 、 $j-1$ 、 $i_{min}$ 、 $f ile\_num$ には0を代入し、ステップSJ2へ進む。ここで、iおよびjは、図35に示すx-y平面において処理の対象となる座標点(参照点)を指定するための変数である。また、

40  $i_{\min}$ ,  $i_{\max}$ ,  $j_{\min}$ ,  $j_{\max}$  は、上記参照点の集合である領域を指定する定数であり、この領域は、具体的には図 3.5 に示す  $(i, j) = (0, 0), (1, 0), (0, m), (1, m)$  の 4 点を頂点とする長方形の内側を指す。また、 $i_{\_1\ i\ m_{\min}}$ ,  $i_{\_1\ i\ m_{\max}}$ ,  $j_{\_1\ i\ m_{\min}}$ ,  $j_{\_1\ i\ m_{\max}}$  は、上記参照点  $(i, j)$  が上記長方形の内側にあるか否かの判断に使用される変数である。また、`file_num` は処理の対象となる教示データを識別するためのファイル番号である。

【0082】ステップSJ2では、l\_status, statusをNOとし、counterに0を、△

$i$ ,  $\Delta j$  に  $+1$  を、  $dir$  に  $x$  を代入し、ステップ SJ 3 へ進む。ここで、  $status$  は、その値が YES ならば直前に処理した参照点における塗装ガン 2 先端の移動速度が速度  $ve1$  より大きいことを、 NO ならば該移動速度が速度  $ve1$  より小さいことを示す。  $1\_status$  は、 2 つ前に処理した参照点における塗装ガン 2 先端の移動速度について  $status$  と同じ内容を示す。また、  $dir$  は塗装ガン 2 先端が速度領域の外縁に沿って移動する場合の移動方向を示し、  $dir$  の値が  $x$  の場合には塗装ガン 2 先端は  $x$  軸方向へ移動していることを、 また  $y$  の場合には  $y$  軸方向へ移動していることを示している。また、  $\Delta i$  および  $\Delta j$  は変数  $i$  および  $j$  の増減量を、  $counter$  は塗装ガン 2 先端が座標点  $cp$  を通過していく順番を示している。

【0083】ステップ SJ 3 では、  $v [i, j, \omega]$  が速度ベクトル  $vv$  の大きさ  $ve1$  より小さい間、ステップ SJ 4～SJ 12 の処理を繰り返す。ステップ SJ 4 では、  $i$  に  $\Delta i$  を加え、ステップ SJ 5 へ進む。ステップ SJ 5 では、  $i$  が  $i\_1im_{min}$  より大きいか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップ SJ 6 へ進む。ステップ SJ 6 では、  $\Delta i$  に  $-1$  をかけ、ステップ SJ 7 へ進む。ステップ SJ 7 では、  $i$  に  $i\_1im_{max}$  を代入し、ステップ SJ 8 へ進む。ステップ SJ 8 では、  $j$  に  $\Delta j$  を加え、ステップ SJ 9 へ進む。一方、ステップ SJ 5 の判断結果が「NO」である場合には、そのままステップ SJ 9 へ進む。

【0084】ステップ SJ 9 では、  $i$  が  $i\_1im_{min}$  より小さいか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップ SJ 10 へ進む。ステップ SJ 10 では、  $\Delta i$  に  $-1$  をかけ、ステップ SJ 11 へ進む。ステップ SJ 11 では、  $i$  に  $i\_1im_{min}$  を代入し、ステップ SJ 12 へ進む。ステップ SJ 12 では、  $j$  に  $\Delta j$  を加え、ステップ SJ 3 へ戻る。一方、ステップ SJ 9 の判断結果が「NO」である場合には、そのままステップ SJ 3 へ戻る。ステップ SJ 3 において、  $v [i, j, \omega]$  が速度ベクトル  $vv$  の大きさ  $ve1$  以上になると、ステップ SJ 13 へ進む。

【0085】ステップ SJ 13 では、  $x$  に  $x_{min} + \Delta x \times i$  を、  $y$  に  $y_{min} + \Delta y \times j$  を代入し、ステップ SJ 14 へ進む。ステップ SJ 14 では、ステップ SJ 13 で求めた  $x$ ,  $y$  で指定される点  $(x, y)$  を教示点として  $tcp [counter]$  へ代入し、  $counter$  に  $1$  を加え、  $status$  に YES を代入し、ステップ SJ 15 へ進む。ステップ SJ 15 では、  $tcp [counter]$  が  $tcp [0]$  と等しくない間、ステップ SJ 16～SJ 50 の処理を繰り返す。図 32 に示すステップ SJ 16 では、  $v [i, j, \omega]$  が速度ベクトル  $vv$  の大きさ  $ve1$  より大きいか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップ SJ 17 へ進む。ステップ SJ 17 では、  $dir$  が  $x$  であるか否か

を判断する。この判断結果が「YES」の場合には、図 33 に示すステップ SJ 18 へ進む。

【0086】ステップ SJ 18 では、  $v [i, j - \Delta j, \omega]$  が速度ベクトル  $vv$  の大きさ  $ve1$  より大きいか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップ SJ 19 へ進む。ステップ SJ 19 では、  $dir$  に  $y$  を代入し、  $\Delta j$  に  $-1$  をかけ、図 32 に示すステップ SJ 32 にへ進む。一方、ステップ SJ 18 の判断結果が「NO」の場合には、ステップ SJ 20 へ進む。ステップ SJ 20 では、  $x$  に  $x_{min} + \Delta x \times i$  を、  $y$  に  $y_{min} + \Delta y \times j$  を代入し、  $tcp [counter]$  に点  $(x, y, \omega)$  を教示点として代入する。その後、  $counter$  に  $1$  を、  $i$  に  $\Delta i$  を加え、ステップ SJ 21 へ進む。

【0087】ステップ SJ 21 では、  $i$  が  $i\_1im_{min}$  より小さいか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップ SJ 22 へ進む。ステップ SJ 22 では、  $i$  に  $i\_1im_{min}$  を代入し、  $j$  に  $\Delta j$  を加え、  $\Delta i$  に  $-1$  をかけ、ステップ SJ 23 へ進む。一方、ステップ SJ 21 の判断結果が「NO」の場合には、そのままステップ SJ 23 へ進む。ステップ SJ 23 では、  $i$  が  $i\_1im_{max}$  より大きいか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップ SJ 24 へ進む。ステップ SJ 24 では、  $i$  に  $i\_1im_{max}$  を代入し、  $j$  に  $\Delta j$  を加え、  $\Delta i$  に  $-1$  をかけ、図 32 に示すステップ SJ 32 へ進む。

【0088】一方、図 32 に示すステップ SJ 17 の判断結果が「NO」の場合には、図 33 に示すステップ SJ 25 へ進む。ステップ SJ 25 では、  $v [i - \Delta i, j, \omega]$  が速度ベクトル  $vv$  の大きさ  $ve1$  より大きいか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップ SJ 26 へ進む。ステップ SJ 26 では、  $dir$  に  $x$  を代入し、  $\Delta i$  に  $-1$  をかけ、図 32 に示すステップ SJ 32 に進む。一方、ステップ SJ 25 の判断結果が「NO」の場合には、ステップ SJ 27 へ進む。ステップ SJ 27 では、  $x$  に  $x_{min} + \Delta x \times i$  を、  $y$  に  $y_{min} + \Delta y \times j$  を代入し、  $tcp [counter]$  に点  $(x, y, \omega)$  を教示点として代入する。その後、  $counter$  に  $1$  を、  $j$  に  $\Delta j$  を加え、ステップ SJ 28 へ進む。

【0089】ステップ SJ 28 では、  $j$  が  $j\_1im_{min}$  より小さいか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップ SJ 29 へ進む。ステップ SJ 29 では、  $j$  に  $j\_1im_{min}$  を代入し、  $i$  に  $\Delta i$  を加え、  $\Delta j$  に  $-1$  をかけ、ステップ SJ 30 へ進む。一方、ステップ SJ 28 の判断結果が「NO」である場合には、そのままステップ SJ 30 へ進む。

【0090】ステップ SJ 30 では、  $j$  が  $j\_1im_{max}$  より大きいか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップ SJ 31 へ進む。ステップ

S J 3 1 では、j に  $j\_1\ i_{\max}$  を代入し、i に  $\Delta i$  を加え、 $\Delta j$  に -1 をかけ、図 3 2 に示すステップ S J 3 2 へ進む。一方、ステップ S J 3 0 の判断結果が「NO」である場合には、そのままステップ S J 3 2 へ進む。ステップ S J 3 2 では、 $l\_status$  に現在の  $status$  の値を、 $status$  に NO を代入し、図 3 0 に示すステップ S J 1 5 へ戻る。

【0091】一方、図 3 2 に示すステップ S J 1 6 の判断結果が「NO」の場合には、ステップ S J 3 3 へ進む。ステップ S J 3 3 では、 $status$  が YES であるか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップ S J 3 4 へ進む。ステップ S J 3 4 では、 $dir$  が x であるか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップ S J 3 5 へ進む。ステップ S J 3 5 では、 $dir$  に y を代入し、i から  $\Delta i$  を引き、j に  $\Delta j$  を加える。さらに、 $l\_status$  に現在の  $status$  の値を、 $status$  に NO を代入し、図 3 4 に示すステップ S J 3 7 へ進む。

【0092】一方、図 3 2 に示すステップ S J 3 4 の判断結果が「NO」の場合には、ステップ S J 3 6 へ進む。ステップ S J 3 6 では、 $dir$  に x を代入し、j から  $\Delta j$  を引き、i に  $\Delta i$  を加える。さらに、 $l\_status$  に現在の  $status$  の値を、 $status$  に NO を代入し、図 3 4 に示すステップ S J 3 7 へ進む。ステップ S J 3 7 では、 $status$  が NO であるか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップ S J 3 8 へ進む。ステップ S J 3 8 では、 $l\_status$  が NO であるか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップ S J 3 9 へ進む。ステップ S J 3 9 では、 $dir$  が y であるか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップ S J 4 0 へ進む。ステップ S J 4 0 では、j に  $\Delta j$  を加え、図 3 0 に示すステップ S J 1 5 へ戻る。一方、ステップ S J 3 9 の判断結果が「NO」の場合には、ステップ S J 4 1 へ進む。ステップ S J 4 1 では、i に  $\Delta i$  を加え、図 3 0 に示すステップ S J 1 5 へ戻る。

【0093】一方、ステップ S J 3 8 の判断結果が「NO」の場合には、ステップ S J 4 2 へ進む。ステップ S J 4 2 では、 $dir$  が x であるか否かを判断する。この判断結果が「YES」である場合には、ステップ S J 4 3 へ進む。ステップ S J 4 3 では、 $v [i, j - \Delta j, \omega]$  が速度ベクトル  $v$  の大きさ  $v_e$  1 より大きいか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップ S J 4 4 へ進む。ステップ S J 4 4 では、 $tcp [counter]$  に  $(i, j - \Delta j, \omega)$  を教示点として代入し、図 3 0 に示すステップ S J 1 5 へ戻る。一方、ステップ S J 4 3 の判断結果が「NO」の場合には、ステップ S J 4 5 へ進む。ステップ S J 4 5 では、 $dir$  に y を代入し、 $\Delta j$  に -1 を掛け、i に  $\Delta i$  を加え、ステップ S J 4 6 へ進む。ステップ S J 4 6 では、

$l\_status$  に  $status$  の値を代入し、 $status$  に NO を代入し、図 3 0 に示すステップ S J 1 5 へ戻る。

【0094】一方、ステップ S J 4 2 の判断結果が「NO」の場合には、ステップ S J 4 7 へ進む。ステップ S J 4 7 では、 $v [i - \Delta i, j, \omega]$  が速度ベクトル  $v$  の大きさ  $v_e$  1 より大きいか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップ S J 4 8 へ進む。ステップ S J 4 8 では、 $tcp [counter]$  に  $(i - \Delta i, j, \omega)$  を教示点として代入し、図 3 0 に示すステップ S J 1 5 へ戻る。一方、ステップ S J 4 7 の判断結果が「NO」の場合には、ステップ S J 4 9 へ進む。ステップ S J 4 9 では、 $dir$  に x を代入し、 $\Delta i$  に -1 を掛け、j に  $\Delta j$  を加え、ステップ S J 5 0 へ進む。ステップ S J 5 0 では、 $l\_status$  に  $status$  の値を代入し、 $status$  に NO を代入し、図 3 0 に示すステップ S J 1 5 へ戻る。

【0095】上記ステップ S J 1 4 ～ S J 5 0 の処理を  $tcp [counter]$  が  $tcp [0]$  と等しくなるまで繰り返し、ステップ S J 1 5 において、 $tcp [counter]$  が  $tcp [0]$  と等しくなると、ステップ S J 5 1 へ進む。ステップ S J 5 1 では、ステップ S J 1 で設定した各変数の初期値を変更し、動作範囲全域をチェックするまでステップ S J 1 6 ～ S J 5 0 の処理を行う。具体的には、 $i\_1\ i_{\min}$  に  $i_{\min}$  を、 $i\_1\ i_{\max}$  に 1 を、 $j\_1\ i_{\min}$  に  $j_{\min}$  を、 $j\_1\ i_{\max}$  に  $m$  を代入し、再びステップ S J 1 5 ～ S J 5 0 の処理を行い、それらの処理の終了後、さらにステップ S J 5 1 で、 $i\_1\ i_{\min}$  に 0 を、 $i\_1\ i_{\max}$  に  $i_{\max}$  を、 $j\_1\ i_{\min}$  に 0 を、 $j\_1\ i_{\max}$  に  $j_{\max}$  を代入し、再びステップ S J 1 5 ～ S J 5 0 の処理を行い、一例の処理を終了する。

【0096】図 3 0 ～ 図 3 4 の PAD 図に示した処理を用いると、塗装ガン 2 は塗料を吐出しながら速度能力領域の外縁に沿って移動するので、図 3 6 に示すように網 5 の上にワーク 6 を置いて網塗りを行う場合には、オペレータは、網 5 の上に実際に速度能力領域を描かせ、その網 5 に描かれた速度能力領域内にワーク 6 を設置することができる。

【0097】次に、CPU 1 1 が、速度能力領域の内部において図 3 7 に示すような軌道で、塗装ガン 2 先端を移動させる処理について図 3 8 に示す PAD 図を参照して説明する。オペレータが上記処理の開始を指示すると、CPU 1 1 は図 3 8 に示すステップ S K 1 に進む。ステップ S K 1 では、i に 1 を、j に 0 を、 $\Delta i$  に -1 を、 $\Delta j$  に +1 を代入し、ステップ S K 2 へ進む。ステップ S K 2 では、i が 0 より大きい間、ステップ S K 3 ～ S K 1 2 の処理を繰り返す。ステップ S K 3 では、 $v [i, j, \omega]$  が速度ベクトル  $v$  の大きさ  $v_e$  1 より大きいか否かを判断する。この判断結果が「YES」の

場合には、ステップSK4へ進む。ステップSK4では、 $x$ に $x_{min} + \Delta x \times i$ を、 $y$ に $y_{min} + \Delta y \times j$ を代入し、ステップSK5へ進む。ステップSK5では、塗装ガン2先端を点 $(x, y, \omega)$ へ移動させ、ステップSK6へ進む。ステップSK6では、塗装ガン2から塗料を吐出、または、制御装置3に内蔵されたスピーカ16から警告音を鳴らし、ステップSK8へ進む。

【0098】一方、ステップSK3の判断結果が「NO」の場合には、ステップSK7へ進む。ステップSK7では、塗装ガン2は塗料を吐出せず、あるいは制御装置3は上記警告音を鳴らさず、ステップSK8へ進む。ステップSK8では、 $j$ に $\Delta j$ を加え、ステップSK9へ進む。ステップSK9では、 $j$ が $m$ より大きいか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップSK10へ進む。ステップSK10では、 $j$ に $m$ を、 $\Delta j$ に-1を代入し、 $i$ に $\Delta i$ を加え、ステップSK11へ進む。一方、ステップSK9の判断結果が「NO」の場合には、そのままステップSK11へ進む。

【0099】ステップSK11では、jが0より小さいか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップSK12へ進む。ステップSK12では、jに0を、 $\Delta j$ に+1を代入し、iに $\Delta i$ を加えステップSK2へ戻る。一方、ステップSK11の判断結果が「NO」の場合には、そのままステップSK2へ戻る。ステップSK2において、iが0より大きいか否かを判断し、ステップSK3～SK12の処理をiが0より大きい間繰り返した後、一例の処理を終了する。

【0100】図38のPAD図に示した処理を行うと、塗装ガン2先端は図37に示すような軌道を床面に描くが、この他に、塗装ガン2先端が速度能力領域からはみ出した場合に、スピーカ16より警告音を鳴らすようにしても良い。また、制御装置3にパトライトを設け、塗装ガン2先端が速度能力領域からはみ出した場合に、上記警告音の代わりに該パトライトを点滅させたり、該パトライトの点灯色を切り換えても良い。また、図38のPAD図に示した処理を行うと、塗装ガン2先端は図37に示すような軌道を描きながら移動するので、オペレータは、図39に示すように、そのとき床面に描かれた軌道に合わせてワーク6を置くことができる。

【0101】次に、塗装ガン2先端を塗装範囲内の各座標点から所定の方向へ所定の速度で移動させる場合において、各回転軸1c1～1c4の角速度を各回転軸1c1～1c4の最大角速度で割った値を上記各座標点について求め、この値を考慮する事によって、ロボット1が

$$w = f(\theta) \dots \dots \dots \dots \dots$$

とする。塗装ガン2先端の速度は、

$$\frac{dw}{dt} = \frac{\partial f(\theta)}{\partial \theta} \frac{d\theta}{dt}.$$

と表すことができる。ここで  $f(\theta)$  の  $\theta$  による偏微分

その性能を最も引き出せる位置へワークを移すように教示データを変換する処理について図40および図41に示すPAD図を参照して説明する。オペレータ上記処理の開始を指示すると、CPU11は図40のステップSL1へ進む。ステップSL1では、オペレータの教示操作により教示データを作成、あるいは、既に教示の終了した教示データをRAM13にロードする。また、CPU11は、ロボット1の動作を調整する各種パラメータをRAM13にロードする。これらの処理の後、ステップSL2へ進む。

【0102】ステップS L 2では、上記教示データによって決定される塗装作業面の上記ロボットベース座標系における位置および方向を算出し、ステップS L 3へ進む。ステップS L 3では、教示データ内の教示点のうち、1番目に教示された教示点と2番目に教示された教示点とを結ぶ直線を求め、その直線方向を塗装ガン2先端の動作方向とする。ステップS L 4では、先に図20に示したように、教示データを長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>を表すデータへ変換し、該長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>の対角線の交点をワークの中心とし、ステップS L 5へ進む。

【0103】ステップSL5では、変数xを $x_{min} \sim x_{max}$ の範囲において所定距離 $\Delta x$ の間隔で変化させながら、該変数xによってx軸上の座標値を指定されるyz平面に対して、ステップSL6～SL7の処理を行う。ここで $x_{min}$ 、 $x_{max}$ は、ロボット1の仕様によって決定される上記塗装範囲において、塗装ガン2先端のx軸方向の移動範囲を指定する値であり、以下に述べる

$y_{\min}$  ,  $y_{\max}$  および  $z_{\min}$  ,  $z_{\max}$  もそれぞれ同様に上記塗装範囲における塗装ガン 2 先端の  $y$  軸方向および  $z$  軸方向の移動範囲を指定する。

【0104】ステップS L 6では、塗装ガン2先端がy軸に沿った方向へ移動する場合において、教示によって与えられた速度以上の速度で移動することのできる領域の面積（以下、上記領域の面積を速度領域面積と称する）を求める。そして、求めた上記速度領域面積が変数 $y \times \_v [i]$ の値より大きい場合には、該変数 $y \times \_v [i]$ の値を上記速度領域面積に更新し、この時のxの値を $y \times [i]$ に格納し、ステップS L 7へ進む。

【0105】ステップS L 7で行う処理の説明に移る前に、ステップS L 6において速度領域面積を求める具体的計算方法を以下に述べる。塗装ガン2先端の位置をw<sub>0</sub>とすると、この位置w<sub>0</sub>は上記運動学変換式(1)～(4)によって各回転軸1c1～1c4の角度の関数として表現できる。ここで、

• • • • • • • • • • • (24)

【数2】

(25)

【0106】式(25)より、各軸の角速度  $(d/dt)\theta$   
 $(d/dt)\theta = J^{-1} \cdot (d/dt)w \quad \dots$

と表すことができ、この式の  $(d/dt) w$  に教示された塗装速度を代入すると、 $(d/dt) \theta$  が得られる。この  $(d/dt) \theta$  と各軸の最大角速度  $(d/dt) \theta_{\max}$  とを比較することにより、図 4-1 のような速度マップが得られ、この図において 100% 以上の領域の面積を変数  $y \times v$  [i] に格納する。

【0107】ステップSL7では、塗装ガン2先端がz軸に沿った方向へ移動する場合において、ステップSL6と同様の計算方法で上記速度領域面積を求める。そして、求めた速度領域面積が変数 $z_x_v[i]$ の値より大きい場合には、該変数 $z_x_v[i]$ の値を上記速度領域面積に更新し、この時のxの値を $z_x[i]$ に格納し、ステップSL5へ戻る。ステップSL5において、変数xが $x_{max}$ より大きくなると、ステップSL8へ進む。

【0108】ステップSL8では、変数zを $z_{\min} \sim z_{\max}$ の範囲において所定距離 $\Delta z$ の間隔で変化させながら、該変数zによってz軸上の座標値を指定されるx y平面に対して、ステップSL9～SL10の処理を行う。ステップSL9では、塗装ガン2先端がx軸に沿った方向へ移動する場合において、ステップSL6と同様の計算方法で上記速度領域面積を求める。そして、求めた速度領域面積が変数 $xz_v[i]$ の値より大きい場合には、該変数 $xz_v[i]$ の値を上記速度領域面積に更新し、この時のzの値を $xz[i]$ に格納し、ステップSL10へ進む。

【0109】ステップSL10では、塗装ガン2先端がy軸に沿った方向へ移動する場合において、ステップSL6と同様の計算方法で上記速度領域面積を求める。そして、求めた速度領域面積が変数 $y_z_v[i]$ の値より大きい場合には、該変数 $y_z_v[i]$ の値を上記速度領域面積に更新し、この時のzの値を $y_z[i]$ に格納し、ステップSL8へ戻る。ステップSL8において、変数 $z$ が $z_{max}$ より大きくなると、ステップSL1へ進む。

【0110】ステップSL11では、変数yを $y_{\min} \sim y_{\max}$ の範囲において所定距離 $\Delta y$ の間隔で変化させながら、該変数yによってy軸上の座標値を指定されるz x平面に対して、ステップSL12～SL13の処理を行う。ステップSL12では、塗装ガン2先端がx軸に沿った方向へ移動する場合において、ステップSL6と同様の計算方法で上記速度領域面積を求める。そして、求めた速度領域面積が変数x y\_v [1] の値より大きい場合には、該変数x y\_v [i] の値を上記速度領域面積に更新し、この時のyの値をx y [i] に格納し、ステップSL13へ進む。

【0111】ステップSL13では、塗装ガン2先端がz軸に沿った方向へ移動する場合において、ステップS

は、  
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ (26)

L 6 と同様の計算方法で上記速度領域面積を求める。そして、求めた速度領域面積が変数  $z_y_v[i]$  の値より大きい場合には、該変数  $z_y_v[i]$  の値を上記速度領域面積に更新し、この時の  $y$  の値を  $z_y[1]$  に格納し、ステップ S L 1 1 へ戻る。ステップ S L 1 1 において、変数  $y$  が  $y_{max}$  より大きくなると、ステップ S L 1 4 へ進む。

10 【0112】ステップSL14では、ステップSL5～SL13で求められた速度領域面積 $y x\_v[i]$ 、 $z x\_v[i]$ 、 $x z\_v[i]$ 、 $y z\_v[i]$ 、 $z y\_v[i]$ 、 $x y\_v[i]$ のうちから最大値を選択し、さらに同じくステップSL5～SL13で求められた $y x[i]$ 、 $z x[i]$ 、 $x z[i]$ 、 $y z[i]$ 、 $z y[i]$ 、 $x y[i]$ のうちから上記最大値と共に求められた値（以下、速度領域指定値と称する）を選択する。その後、上記速度領域指定値で指定される $x y$ 平面、 $y z$ 平面、 $z x$ 平面のうちのいづれかの平面（以下、作業平面と称する）における塗装範囲の中心位置を求め、ステップSL15へ進む。これにより、ステップSL5～SL13で求められた速度領域の内で面積が最も大きいものを選択できる。

【0113】ステップSL15では、ステップSL14で選択された平面について、塗装ガン2先端が移動する作業平面と作業方向を決定し、ステップSL16へ進む。ステップSL16では、選択された作業平面と作業方向において、塗装ガン2先端が最も速度が出せる位置 $x_c$ を上記の式(26)より求め、ステップSL17へ進む。ステップSL17では、長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ を近似させたワークの中心位置が $x_c$ に来るよう、長方形 $Q_0Q_1Q_2Q_3$ のデータを変換し、ステップSL18へ進む。

【0114】ステップSL18では、ワークが塗装ガン2の動作範囲からはみ出している間は、ステップSL19の処理を繰り返す。ステップSL19では、ステップSL14で選択された上記作業平面上において、上記長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>の中心が上記ロボットベース座標系の原点に近づくように、該長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>を平行移動させる。この時、平行移動後の長方形Q<sub>0</sub>Q<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>3</sub>によって近似される教示データ再生時のロボット1の各回転軸1c1～1c4が、それぞれの回転軸の最小回転角度および最大回転角度を越えないようにする。その後、CPU11は上記平行移動量を求め、ステップSL20へ進む。ステップSL20では、図4-3に示す表に従って教示データを回転、平行移動させ、これを新しい教示データとして記憶し、ステップSL21へ進む。ステップSL21では、新しく求めたデータに基づいてロボット1を動かし、一例の処理を終了する。

50 【0115】次に、ロボット1の各回転軸1c1～1c

4 の最大回転速度に合わせて、ロボット 1 の性能を最も引き出せる位置へワークを移すように教示データを変換し、その変換によって得られた教示データの作業開始点および作業終了点や、ワークの移動量をディスプレイに表示する処理について図 4-4 および図 4-5 に示す PAD 図を参照して説明する。

【0116】図44および図45に示す処理のうち、ステップSM1～SM20の処理は、図40～図41に示したステップSL1～SL20の処理と同じものであるので、その説明を省略する。ステップSM21では、教示データの変換後、図46(a)に示すように、変換後の教示データのロボットベース座標系における第1点と最終点（具体的には図20のP<sub>0</sub>およびP<sub>11</sub>を参照）をディスプレイに表示する。また、図46(b)に示すように、ワークの移動方向と距離、回転角度を表示してもよい。なお、変換後の教示データにおける作業開始点および作業終了点をディスプレイに表示することにより、ワークの位置がインデックステーブル等の形式でRAM13に記憶されている場合には、オペレータは上記作業開始点および作業終了点の座標値を入力するだけで位置の修正を行うことができる。

【0117】次に、アーム1b先端の移動時の最大加速度を目安に教示データを変換する処理について図47および図48に示すPAD図を参照して説明する。なお、これまでの実施例の説明では、ロボット1が、そのアーム1bに塗装ガン2を装備し、塗装作業を行う場合について述べてきたが、本説明では、塗装ガン2の代わりにワーク把持用のロボットハンドを設け、所定の組立作業を行う場合について説明する。

また、各回転軸 1 c 1 ~ 1 c 4 のトルク  $\tau_1$  は、次に示す式 (28) で求められることができる。ここで、 $\tau_1$  は回転軸 1 c 1 のトルクを、 $\tau_2$  は回転軸 1 c 2 のトルクを表す。

$$T_i = H_{ii} \cdot (d/dt)^2 \theta_{it} + \sum_{j \neq i} H_{ij} \cdot (d/dt)^2 \theta_{jt}$$

$$+ \sum_j \sum_k \left( \frac{\partial H \ i \ j}{\partial \theta \ k} - \frac{1}{2} \frac{\partial H \ j \ k}{\partial \theta \ i} \right) \cdot (d/dt) \theta \ j \ + (d/dt) \theta \ k + T \ g$$

非線形力、第4項は重力トルクである。

ここで、上式の第1項は回軸軸  $i$  の回転によって移動するロボットアームの移動によって発生する慣性トルク、第2項は他のロボットアームの動きのよって回軸軸  $i$  が受ける干渉トルク、第3項はコリオリ力、遠心力などの

$$(\frac{d}{dt}) w_M = J_M \cdot (\frac{d}{dt}) \theta_M$$

$$J_{M^{-1}} \cdot (d/dt) w_M = J_{M^{-1}} \cdot J_M \cdot (d/dt) \theta_M$$

$$J_{M^{-1}} \cdot (d/dt) w_M = I_M \cdot (d/dt) \theta_M$$

$$\therefore (d/dt) \theta_M = J_M^{-1} \cdot (d/dt) w_M$$

$$(d/dt)^2 w_M = J_M \cdot (d/dt)^2 \theta_M + J_M \cdot (d/dt) \theta_M \quad \dots \quad (30)$$

非線形力、第4項は重力トルクである。

【0121】さらに、各回転軸1 c 1～1 c 4の角速度 $(d/dt)\theta$ 、角加速度 $(d/dt)^2\theta$ は、式(29)、(30)を以下に示すように変形して求められる。

..... (29)

$$\begin{aligned}
 & (d/dt)^2 w_M - J_M \cdot (d/dt) \theta_M = J_M \cdot (d/dt)^2 \theta_M \\
 & J_M^{-1} \cdot \{(d/dt)^2 w_M - J_M \cdot (d/dt) \theta_M\} = J_M^{-1} \cdot J_x \cdot (d/dt)^2 \theta_M \\
 & J_M^{-1} \cdot \{(d/dt)^2 w_M - J_M \cdot (d/dt) \theta_M\} = I_M \cdot (d/dt)^2 \theta_x \\
 & \therefore (d/dt)^2 \theta_M = J_M^{-1} \cdot \{(d/dt)^2 w_M - J_M \cdot (d/dt) \theta_x\}
 \end{aligned}$$

【0122】さらに、各回転軸1 c 1～1 c 4の角速度 $(d/dt) \theta$ および角加速度 $(d/dt)^2 \theta$ から、塗装ガン2先端がx軸方向およびy軸方向へ移動するときの加速度Aを求めるとき、速度の場合と同様に、図49のような加速度マップが得られる。さらに上記加速度Aより、ロボットハンドがx軸方向へ移動するときの加速度 $A_x$ 、およびy軸方向へ移動するときの加速度 $A_y$ を求める。ステップSN7では、ステップSN6で求めた加速度 $A_x$ が最大加速度 $A_{x\max}$ より大きいか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、ステップSN8へ進む。ステップSN8では、最大加速度 $A_{x\max}$ に加速度 $A_x$ を代入し、ステップSN10へ進む。一方、ステップSN7の判断結果が「NO」の場合には、ステップSN8へ進む。ステップSN9では、点 $w_x$ を点(x, y)とし、ステップSN10へ進む。

【0123】ステップSN10では、ステップSN6で求めた加速度 $A_y$ が最大加速度 $A_{y\max}$ より大きいか否かを判断する。この判断結果が、「YES」の場合には、ステップSN11へ進む。ステップSN11では、最大加速度 $A_{y\max}$ に加速度 $A_y$ を代入し、ステップSN5へ戻る。一方、ステップSN10の判断結果が「NO」である場合には、ステップSN12へ進む。ステップSN12では、点 $w_y$ を点(x, y)とし、ステップSN5へ戻る。ステップSN5において、変数yの値が $y_{\max}$ になると、ステップSN4へ戻る。ステップSN4において、変数xの値が $x_{\max}$ になると、ステップSN13へ進む。

【0124】ステップSN13では、x軸方向およびy軸方向において最大加速度が得られた点x c, y cの中点を $x_{wc}$ とし、ステップSN14へ進む。ステップSN14では、ワークを近似した長方形の中心位置が点 $x_{wc}$ に来るようワークを移動させ、ステップSN15へ進む。ステップSN15では、ワークがロボットハンドの動作範囲をはみ出している間、ステップSN16の処理を繰り返す。ステップSN16では、ワークを近似した長方形の中心位置が、ロボットベース座標系の原点の方向に移動するように、ワークを平行移動する。ステップSN15において、ワークがロボットハンドの動作範囲内に収まると、ステップSN17へ進む。

【0125】ステップSN17では、教示データをワークの中心を $x_{wc}$ とした教示データを変換し、ステップSN18へ進む。ステップSN18では、変換後の教示データの先頭に、ワークを把持・移動する動作を指示する教示データを生成して付加し、ステップSN19へ進む。ステップSN19では、変換後の教示データの末尾に、ワークを元の位置に戻す動作を指示する教示データ

を生成して付加し、ステップSN20へ進む。ステップSN20では、作成された教示データを用いてロボットに組み立て作業を行わせ、一例の処理を終了する。

【0126】以上、この発明の実施例を図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施例に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計の変更等があってもこの発明に含まれる。例えば、上述した実施例では、x軸、y軸、z軸からなる3次元空間において、z軸方向の値を特定の値に固定したx y平面を対象とする処理について述べたが、処理の対象をz軸方向の値を可変とした3次元空間に拡大しても構わない。また、同実施例では、塗装用ロボットシステムを例にとって教示装置3の構成および動作を説明したが、教示装置3は他の用途(溶接、組立等)のマニピュレータ1の制御に使用することも可能である。

### 【0127】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1または請求項2に記載の発明によれば、作業者は最大到達領域を実際に目で見て確認することができ、該最大到達領域内にワークおよび周辺装置を設置する際に、設置に要する工数を減らすことができる。また、作業者は最大到達領域内に正確に、かつ、該最大到達領域を有効に利用してワークおよび周辺装置を設置することができる。さらに、作業者は、ロボットの動作中に、最大到達領域に入らないように注意することができるので、教示作業時の安全性が高まる。

【0128】請求項3または請求項4に記載の発明によれば、ワークに位置に応じて教示データの修正が自動的に行われる所以、作業者は教示および教示データの修正に要する工数を減らすことができ、生産ラインを止める必要がなく、生産ラインの生産効率を上げることができるので、

【0129】請求項5に記載の発明によれば、作業者は角速度能力領域を実際に目で見て確認することができ、該角速度能力領域内にワークおよび周辺装置を設置する際に、設置に要する工数を減らすことができる。また、作業者は角速度能力領域内に正確に、かつ、該角速度能力領域を有効に利用してワークおよび周辺装置を設置することができるので、ワークが角速度能力領域内に収まるよう教示データが自動的に修正されるので、作業具に質の高い作業を行わせることができ、作業時間が短縮される。

【0130】請求項6に記載の発明によれば、作業者は角加速度能力領域を実際に目で見て確認することができ、該角加速度能力領域内にワークおよび周辺装置を設置する際に、設置に要する工数を減らすことができる。

また、作業者は、角加速度能力領域内に正確に、かつ、該角加速度能力領域を有効に利用してワークおよび周辺装置を設置することができる。さらに、ワークが角加速度能力領域内に収まるように教示データが自動的に修正されるので、作業具に質の高い作業を行わせることができ、作業時間が短縮される。また、ロボットおよび周辺装置の仕様が変更された場合であっても、それに合わせてこれらの領域を自動的に求めることができ、作業者はロボットおよび周辺装置の調整に要する工数を減らすことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の一実施例によるロボットの制御装置の構成を示すブロック図である。

【図2】同実施例によるロボットの制御装置を用いたロボットシステムの構成を示す斜視図である。

【図3】ロボット1の数学モデルおよびロボットベース座標系を示す説明図である。

【図4】塗装範囲2の塗装範囲およびその外縁の軌道を示す平面図である。

【図5】制御装置3の制御系を示すブロック図である。

【図6】塗装範囲を求める処理の流れを示すPAD図である。

【図7】各回転軸の目標値を求める処理の流れを示すPAD図である。

【図8】各回転軸の目標値を求める処理の流れを示すPAD図である。

【図9】塗装範囲を床面に描く処理の流れを示すPAD図である。

【図10】塗装範囲内部を塗りつぶす軌道を示す平面図である。

【図11】塗装範囲内部を塗りつぶす軌道の教示データを求める処理の流れを示すPAD図である。

【図12】塗装範囲内部を塗りつぶす軌道の教示データを求める処理の流れを示すPAD図である。

【図13】塗装範囲内部を塗りつぶす処理の流れを示すPAD図である。

【図14】塗装範囲とワークの位置との位置関係を示す平面図である。

【図15】塗装範囲とワークの位置との位置関係を示す平面図である。

【図16】塗装範囲とワークの位置との位置関係を示す平面図である。

【図17】ワークを移動させる処理を示すPAD図である。

【図18】ワークを移動させる処理を示すPAD図である。

【図19】ワークを移動させる処理を示すPAD図である。

【図20】教示データを長方形に近似する処理を示す説明図である。

【図21】ワークが塗装範囲内に入らない場合に手元操作装置4の表示部に出力するメッセージを示す説明図である。

【図22】ワークの微小部分が塗装範囲からはみ出していることを示す平面図である。

【図23】塗装範囲からはみ出しているワークに対する教示データを補正する処理を示すPAD図である。

【図24】塗装範囲からはみ出しているワークに対する教示データを補正する処理を示すPAD図である。

10 【図25】ターンテーブル上のワークの位置と塗装ガン2の動作範囲との位置関係を示す平面図である。

【図26】ターンテーブル上のワークを移動させる処理を示すPAD図である。

【図27】ターンテーブル上のワークを移動させる処理を示すPAD図である。

【図28】ターンテーブル上のワークを移動させる処理を示すPAD図である。

【図29】速度能力配列を求める処理を示すPAD図である。

20 【図30】所定の速度以上の速度で塗装ガン2先端を移動させることができる領域の外縁に沿って塗装ガン2先端を移動させる処理を示す平面図である。

【図31】所定の速度以上の速度で塗装ガン2先端を移動させることができる領域の外縁に沿って塗装ガン2先端を移動させる処理を示すPAD図である。

【図32】所定の速度以上の速度で塗装ガン2先端を移動させることができる領域の外縁に沿って塗装ガン2先端を移動させる処理を示すPAD図である。

【図33】所定の速度以上の速度で塗装ガン2先端を移動させることができる領域の外縁に沿って塗装ガン2先端を移動させる処理を示すPAD図である。

【図34】所定の速度以上の速度で塗装ガン2先端を移動させることができる領域の外縁に沿って塗装ガン2先端を移動させる処理を示すPAD図である。

【図35】所定の速度以上の速度で塗装ガン2先端を移動させることができる領域の外縁に沿って塗装ガン2先端を移動させる処理を示すPAD図である。

【図36】所定の速度以上の速度で塗装ガン2先端を移動させることができる領域の内側におけるワークの配置例を示す平面図である。

【図37】所定の速度以上の速度で塗装ガン2先端を移動させることができる領域内を塗りつぶす軌道を示す平面図である。

【図38】所定の速度以上の速度で塗装ガン2先端を移動させることができる領域内を塗りつぶす処理を示すPAD図である。

【図39】所定の速度以上の速度で塗装ガン2先端を移動させることができる領域の内側におけるワークの配置例を示す平面図である。

40 【図40】速度能力配列を利用して教示データを変換す

る手順を示すP A D図である。

【図41】速度能力配列を利用して教示データを変換する手順を示すP A D図である。

【図42】塗装ガン2先端の移動速度の最大速度マップである。

【図43】塗装ガン2先端の移動速度が最大値となる各条件とワークの移動規則との関係を示す表である。

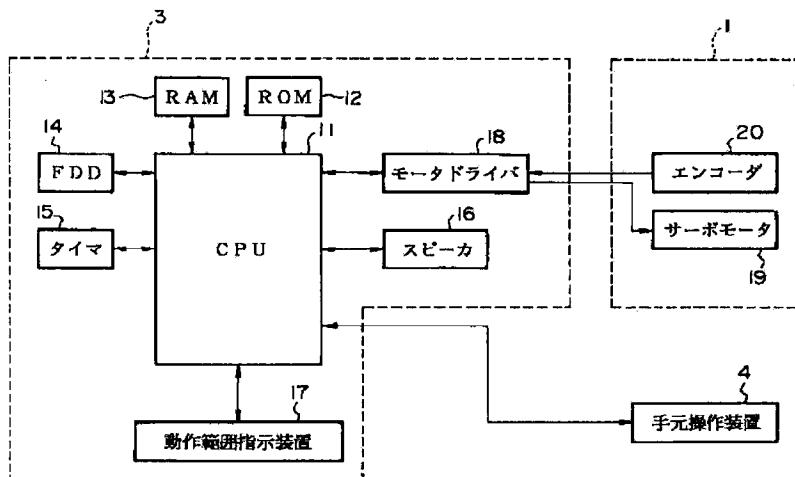
【図44】速度能力配列を利用して教示データを変換し、その結果を表示する処理を示すP A D図である。

【図45】速度能力配列を利用して教示データを変換し、その結果を表示する処理を示すP A D図である。

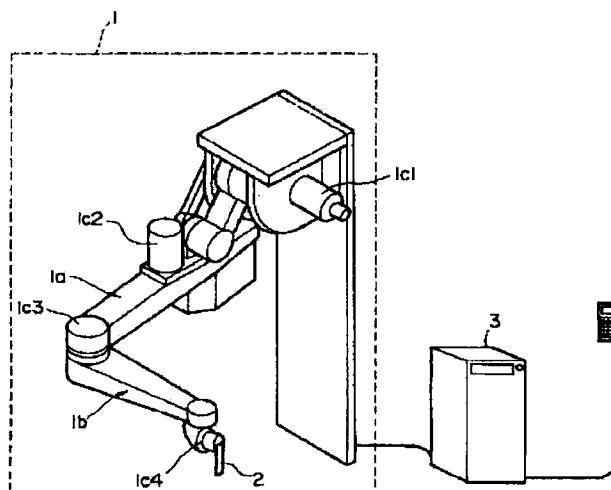
【図46】教示データの変換結果の表示例である。

【図47】ロボットハンドが移動するときの最大加速度を求め、その結果に基づいて教示データを修正する処理を示すP A D図である。

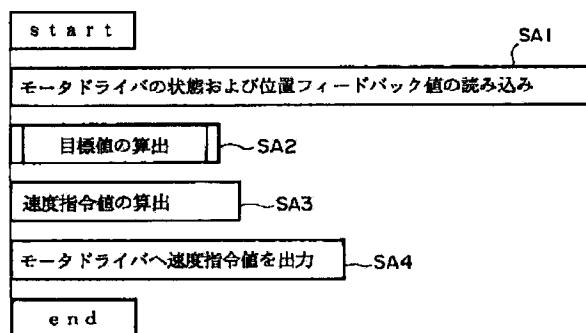
【図1】



【図2】



【図6】



【図48】ロボットハンドが移動するときの最大加速度を求め、その結果に基づいて教示データを修正する処理を示すP A D図である。

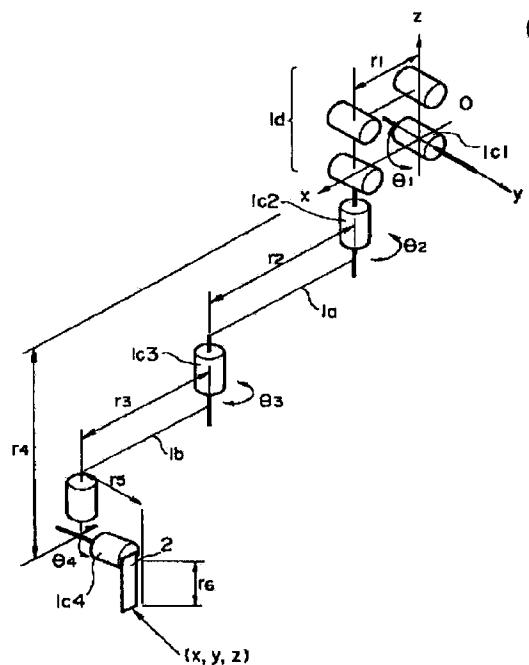
【図49】ロボットハンドが移動する際の加速度マップである。

【図50】従来のロボットの制御装置を用いたロボットシステムの構成を示す斜視図である。

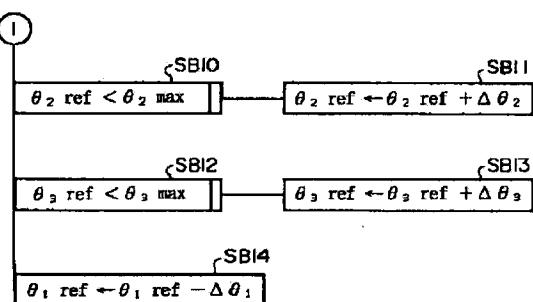
【符号の説明】

1 ……ロボット、 2 ……塗装ガン、 3, 103 ……制御装置、 4 ……手元操作装置、 11 ……C P U、 12 ……R O M、 13 ……R A M、 14 ……F D D、 15 ……タイマ、 16 ……スピーカ、 17 ……動作範囲指示装置、 18 ……モータドライバ、 19 ……サーボモータ、 20 ……エンコーダ

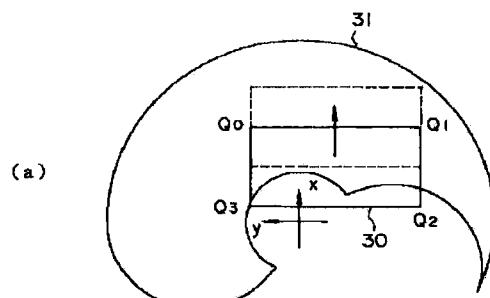
【図3】



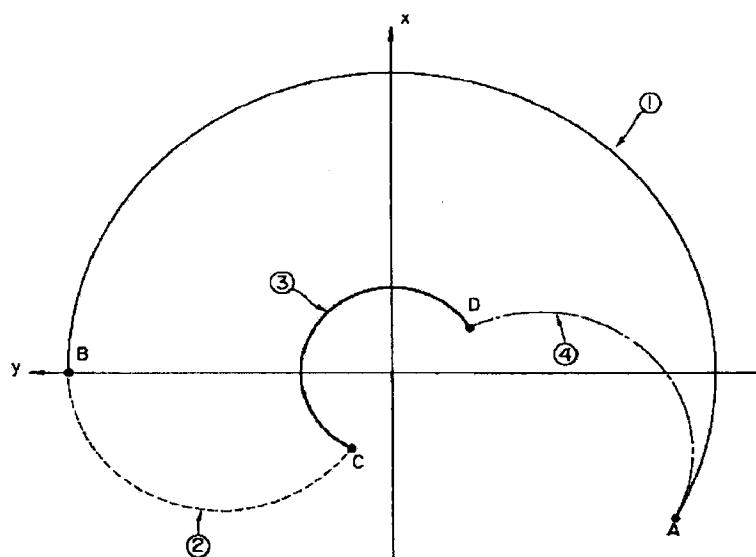
【図8】



【図16】



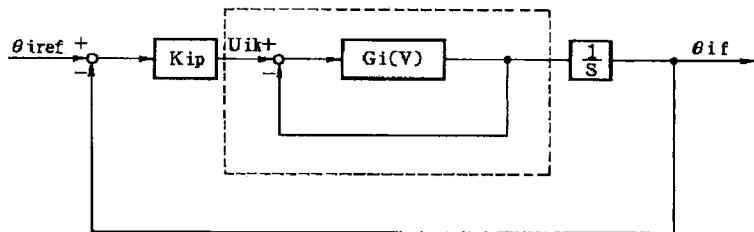
【図4】



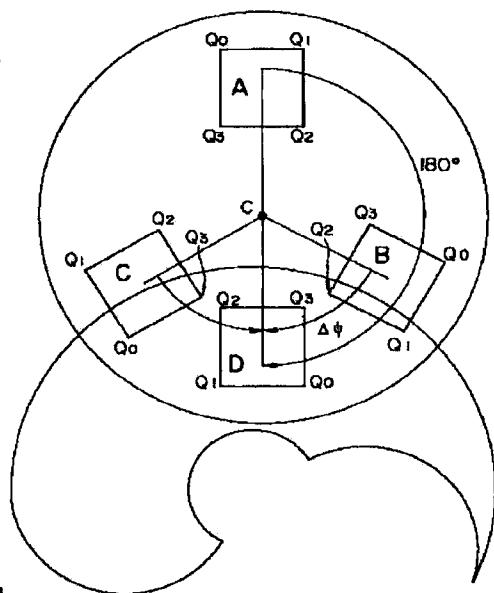
【図21】

ワーク ガ オオスギ  
マス

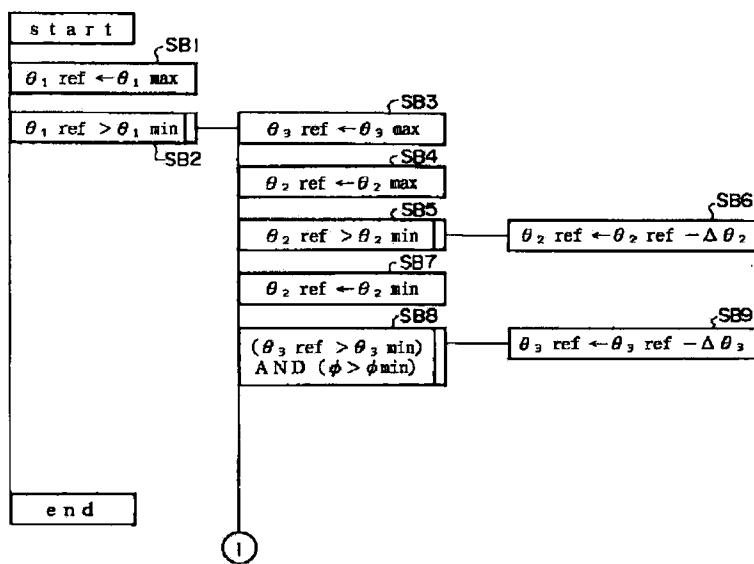
【図5】



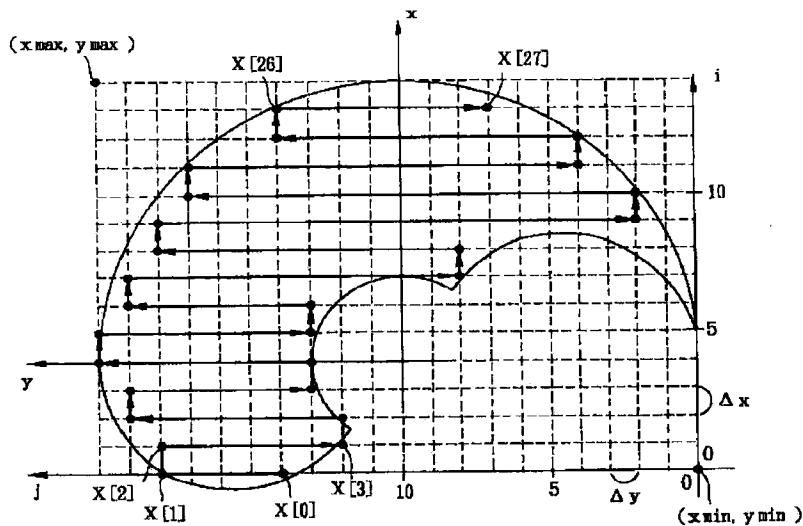
【図25】



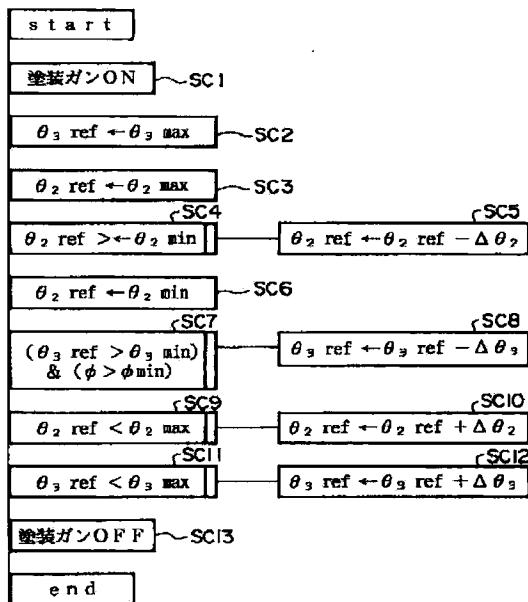
【図7】



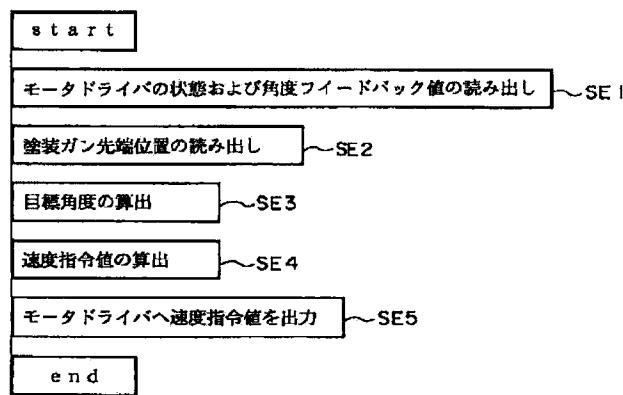
【図10】



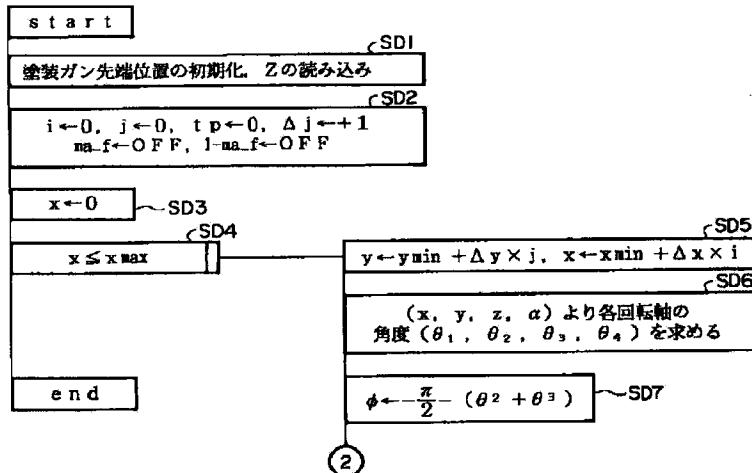
【図9】



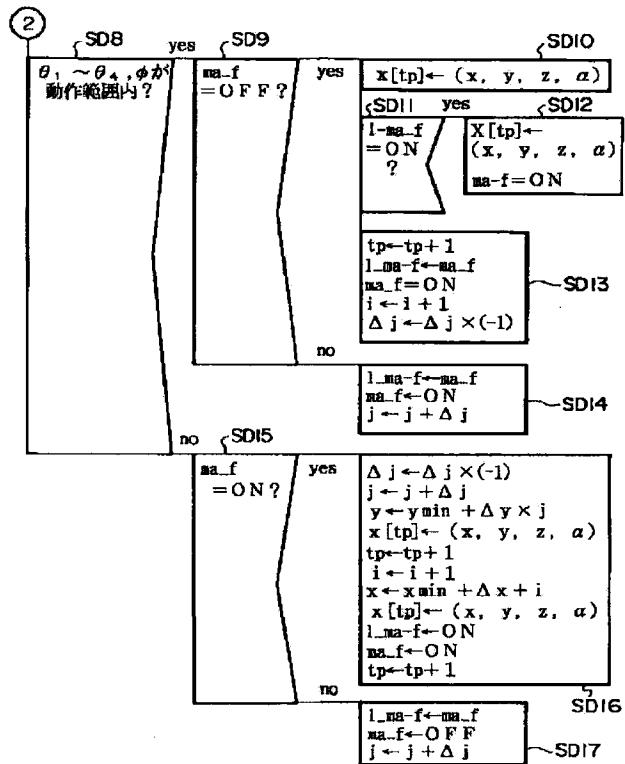
【図13】



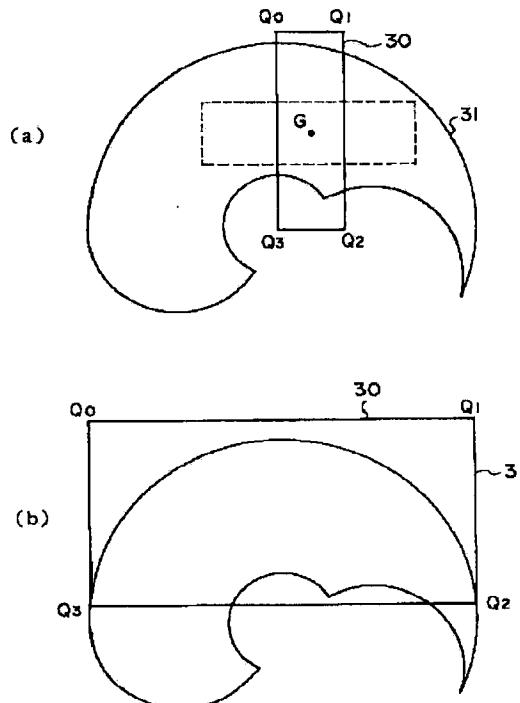
【図11】



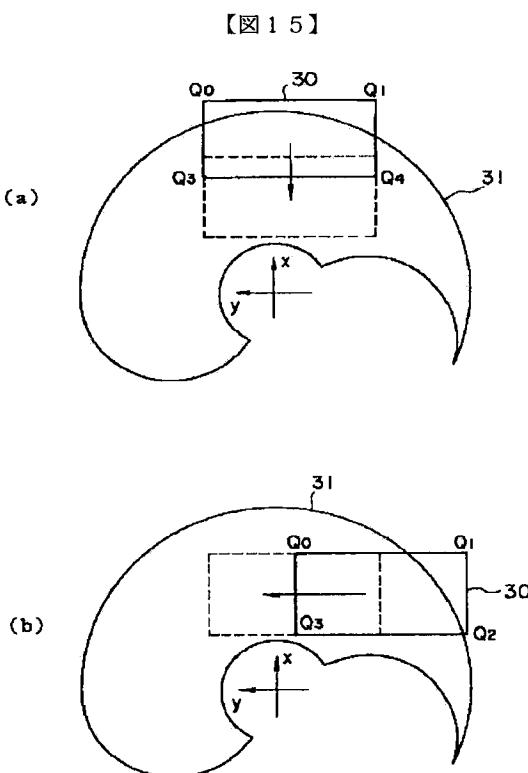
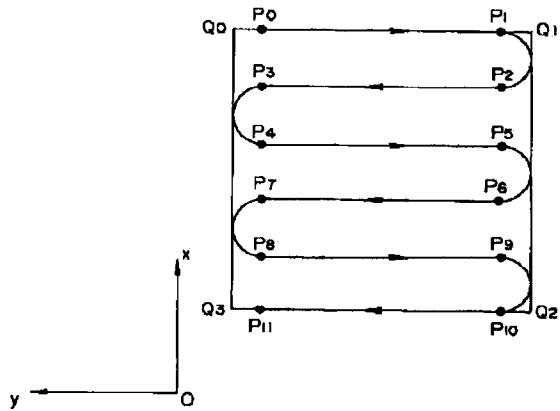
【図12】



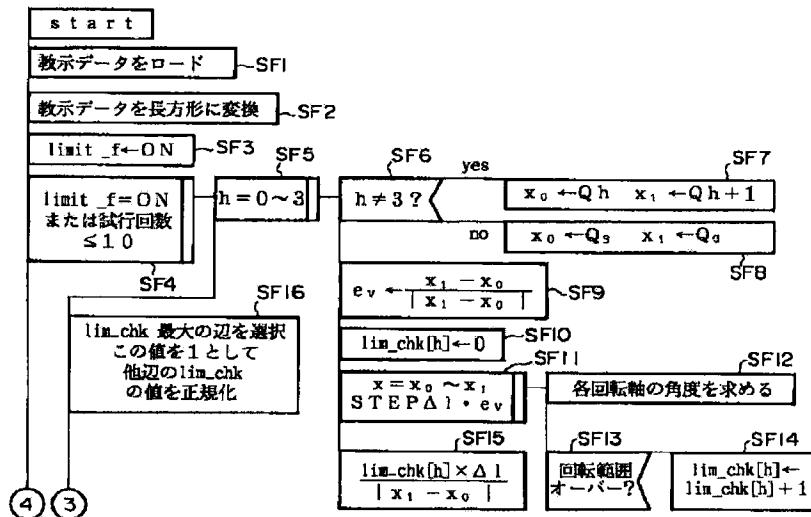
【図14】



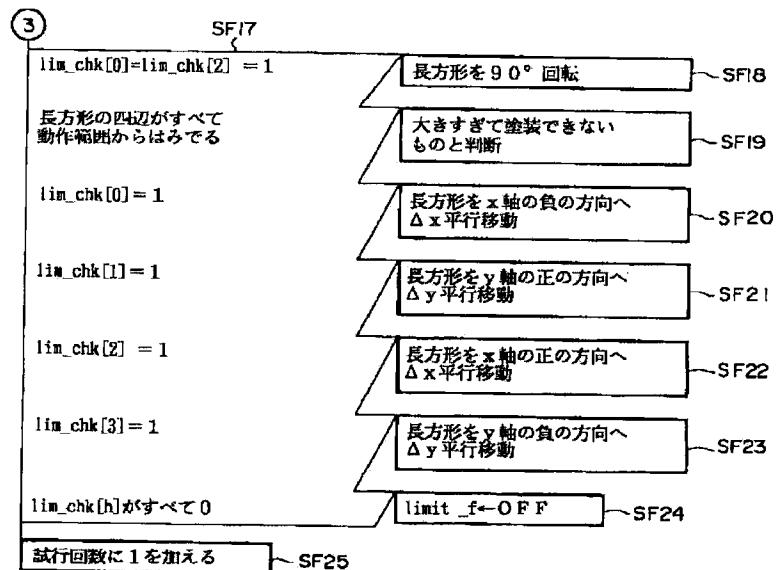
【図20】



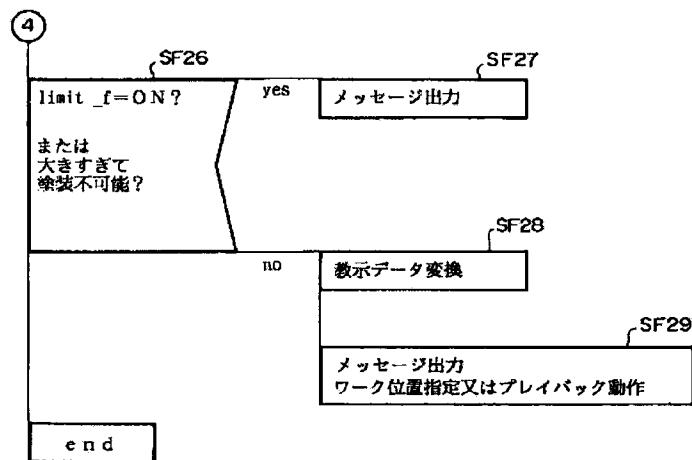
【図17】



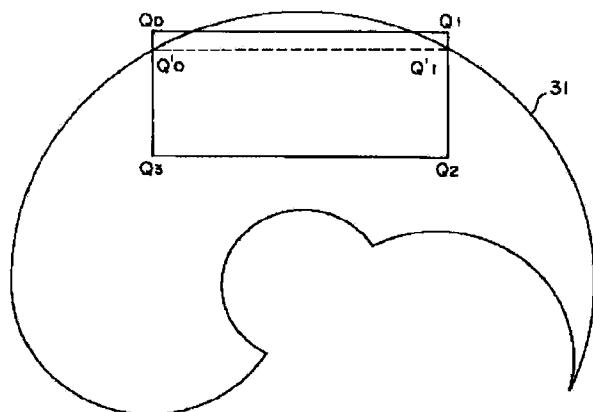
【図18】



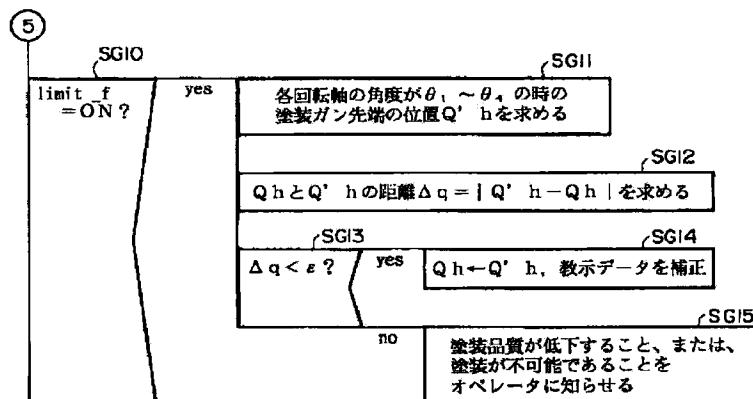
【図19】



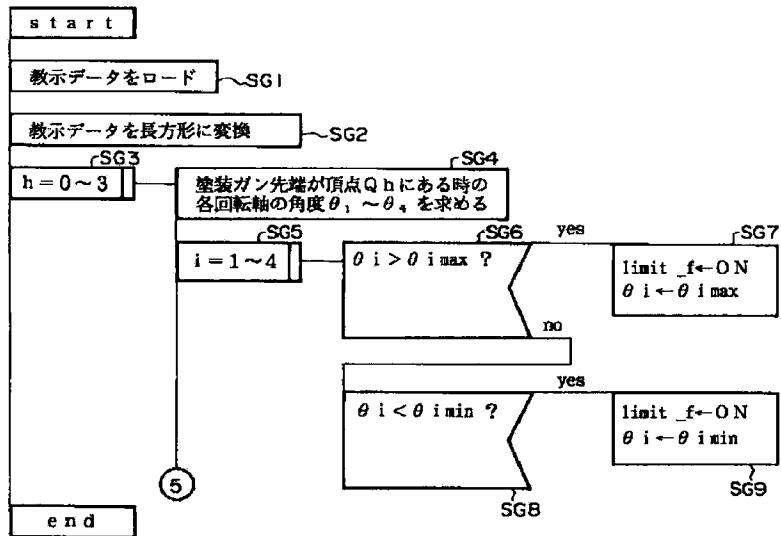
【図22】



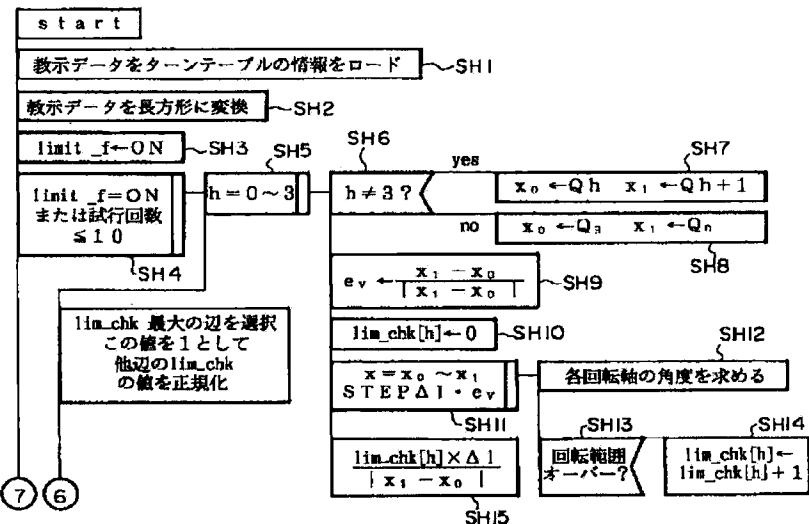
【図24】



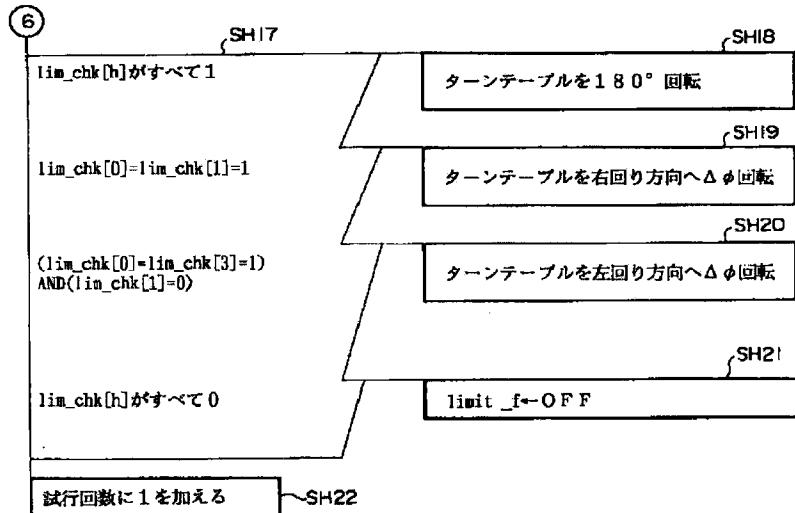
【図23】



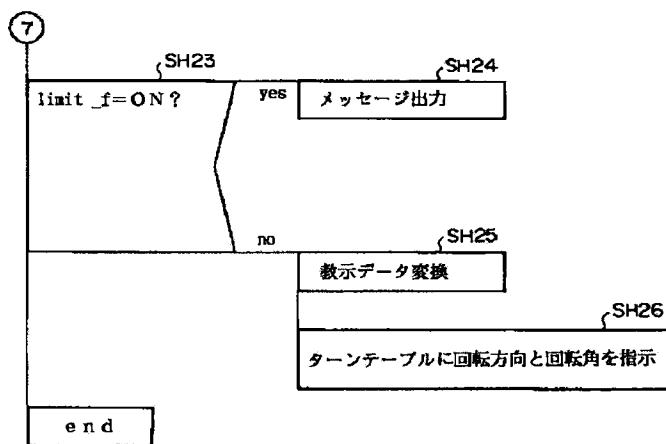
【図26】



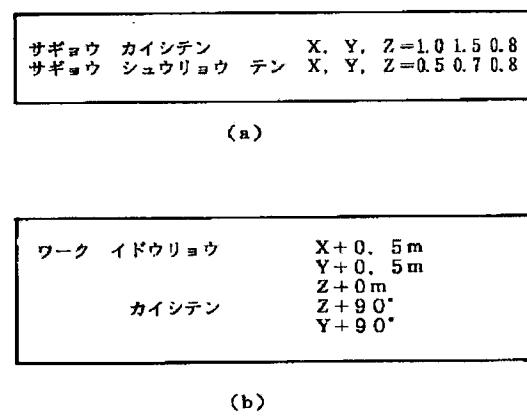
【図27】



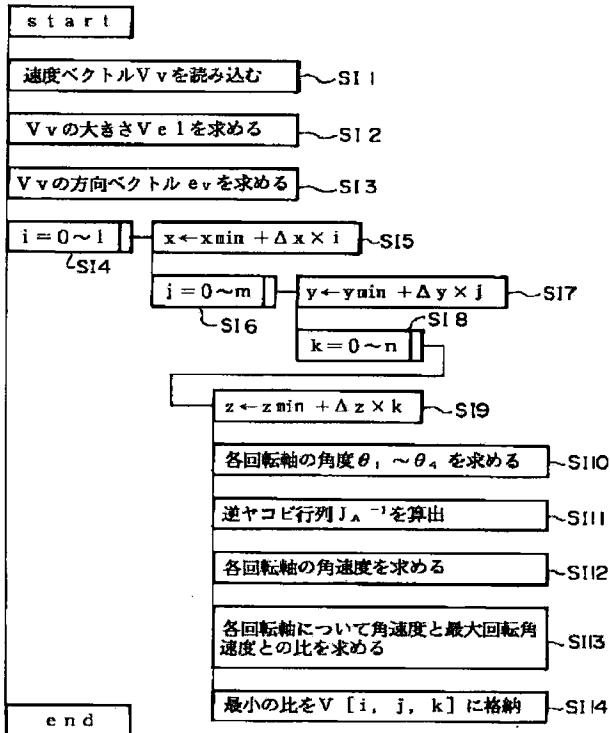
【図28】



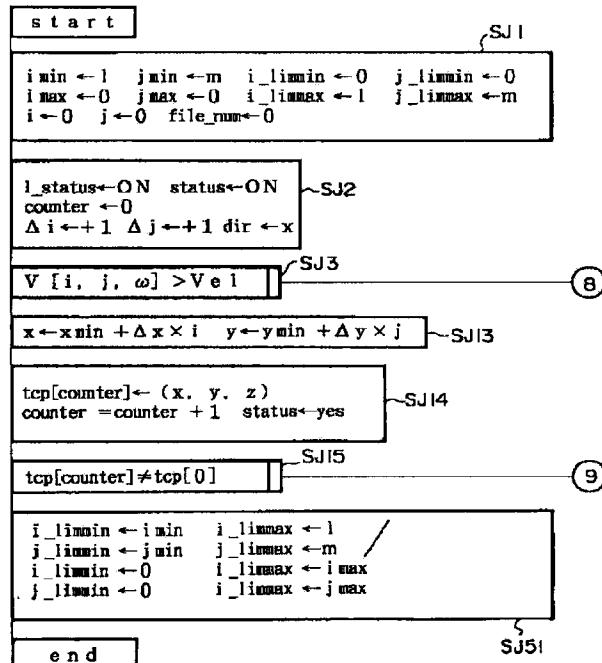
【図46】



【図29】

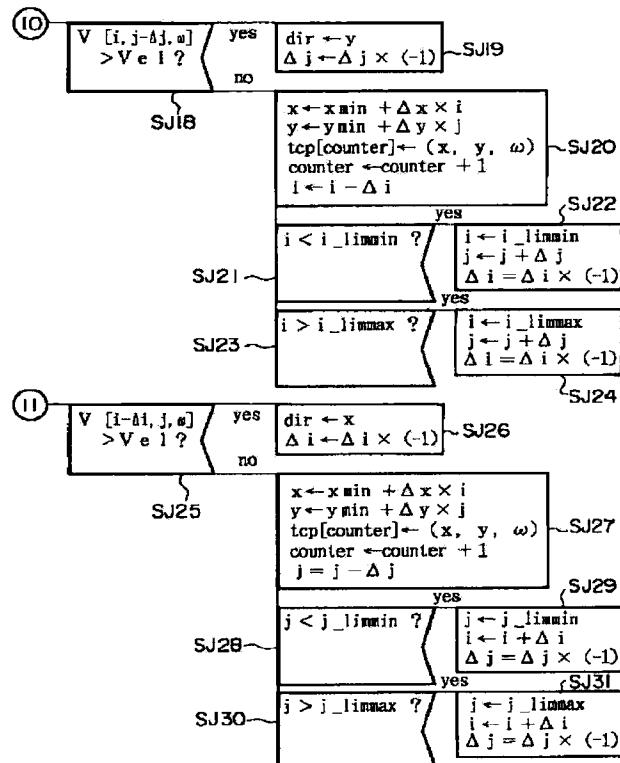
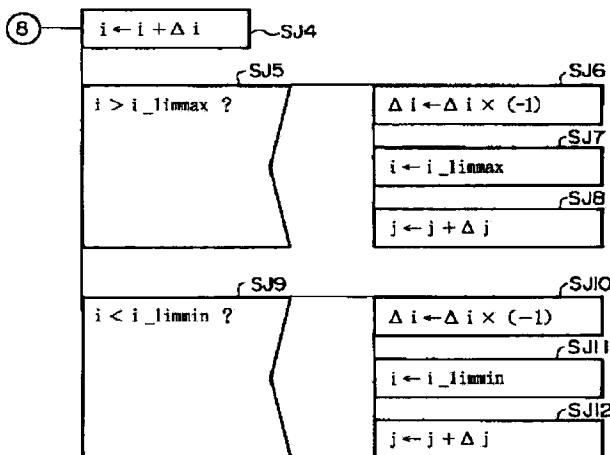


【図30】

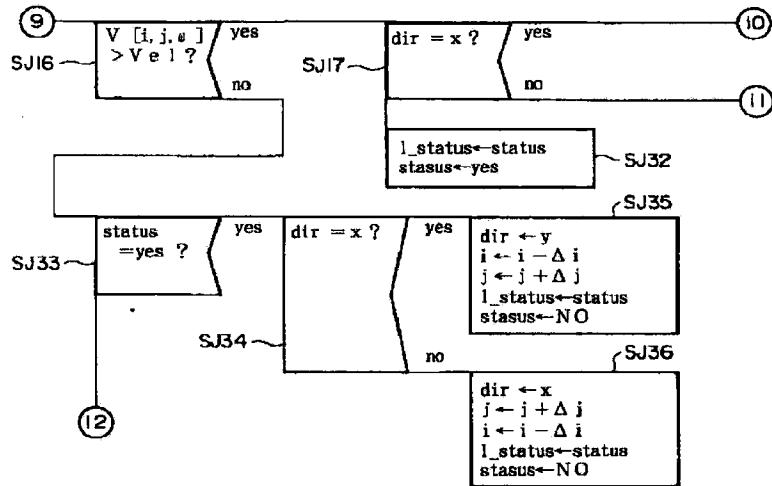


【図33】

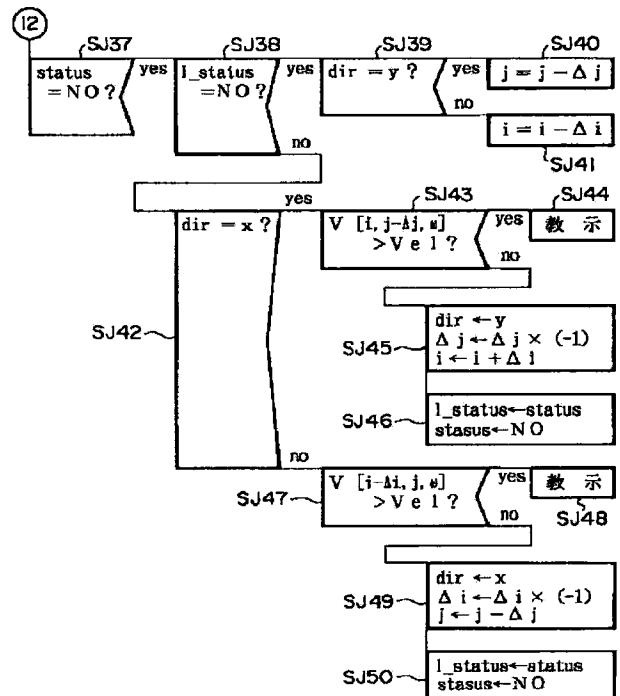
【図31】



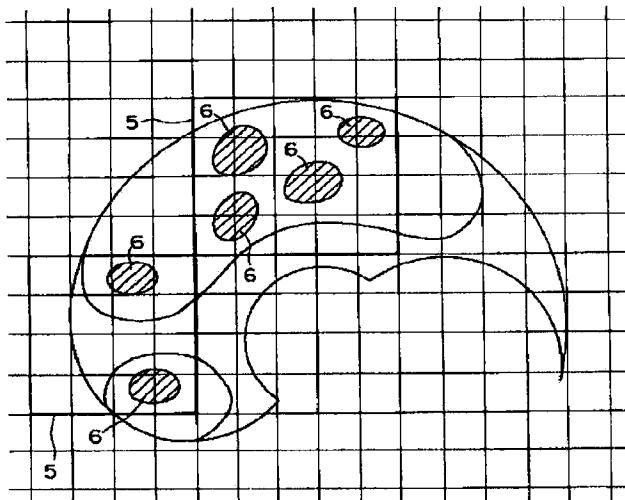
【图32】



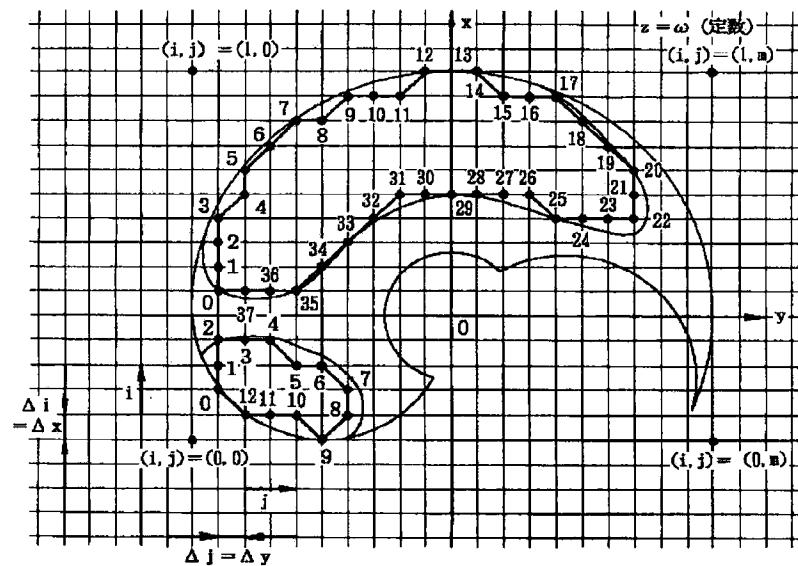
【四三】



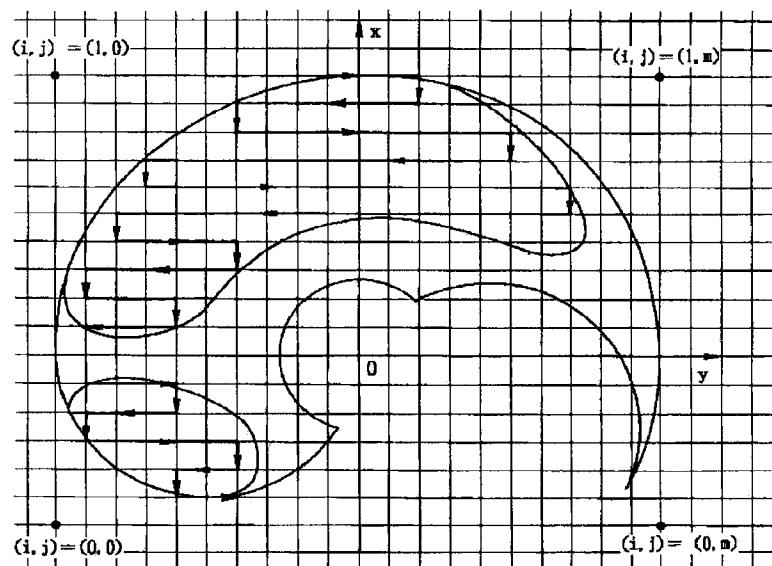
【図36】



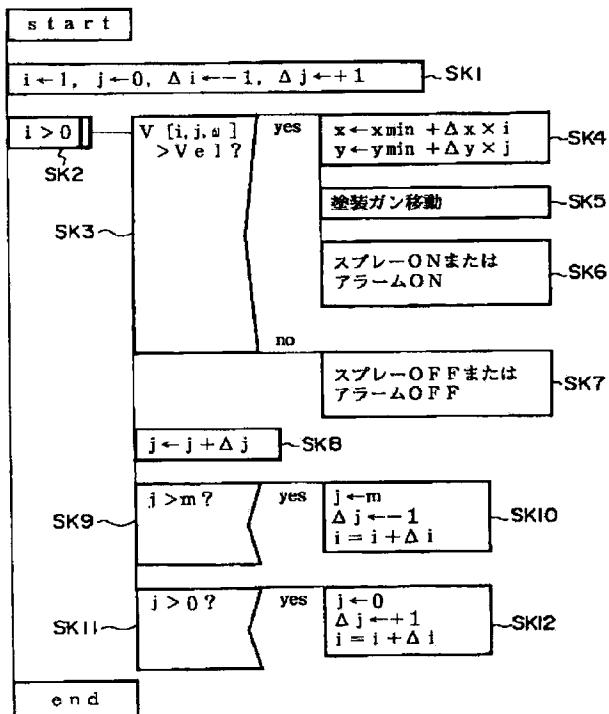
【図35】



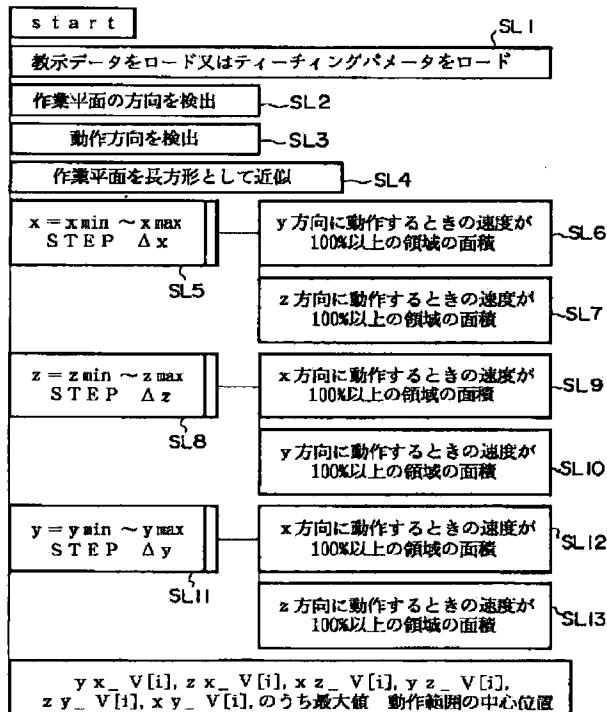
【図37】



【図38】

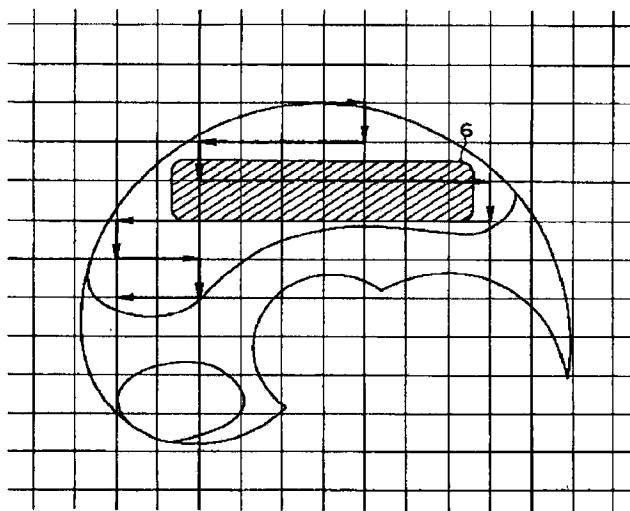


【図40】

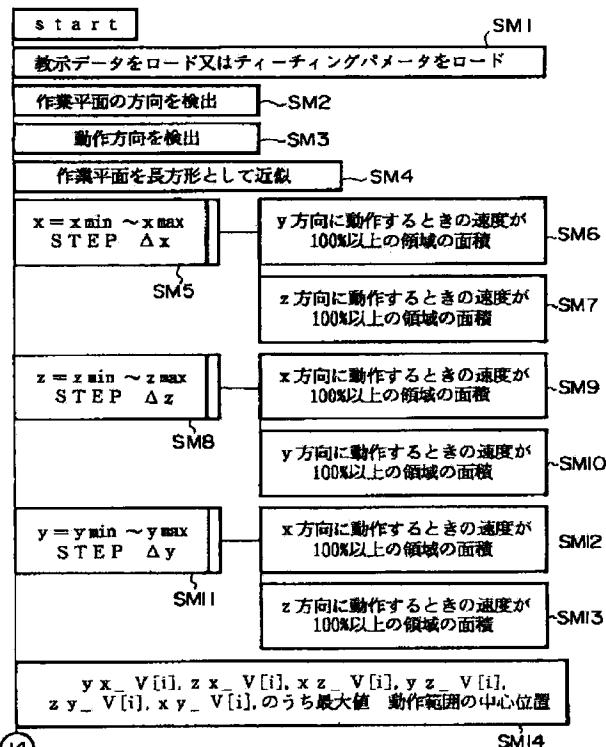


(3)

【図39】



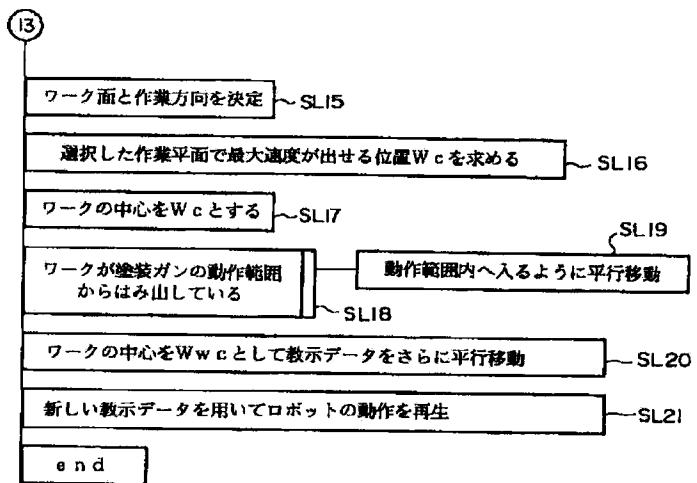
【図44】



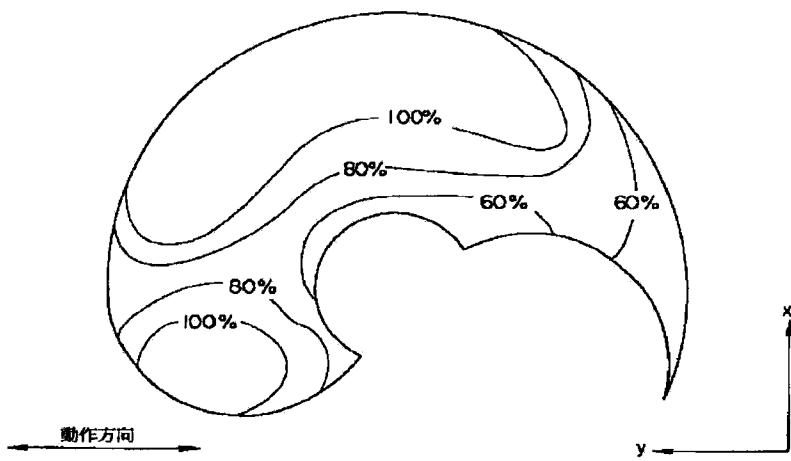
SM14

SL14

【図41】



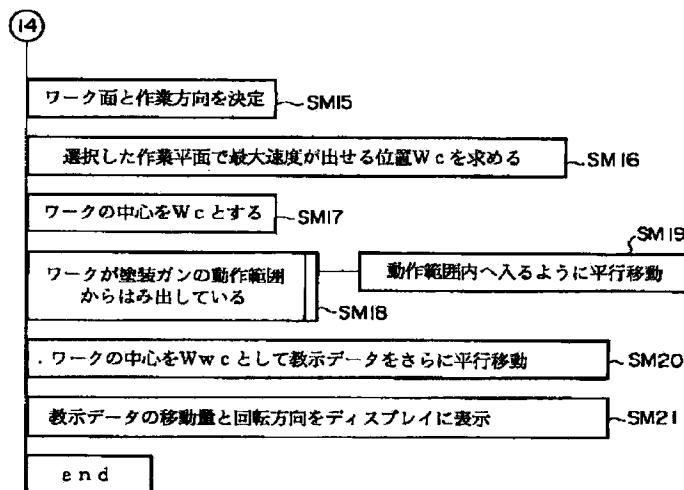
【図42】



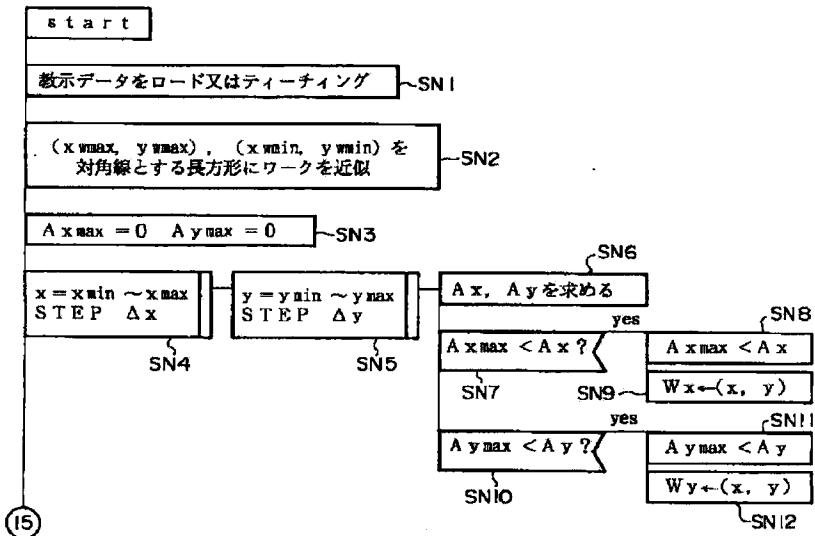
【図43】

オリジナルデータ		作業平面	y z 平面		x y 平面		z x 平面	
動作方向		y 軸方向	z 軸方向	x 軸方向	y 軸方向	z 軸方向	x 軸方向	
動作速度の最大値をとる条件								
y z 平面	y 軸方向	距離のみ 平行移動	Rot x (90°) 平行移動	Rot y (90°) 平行移動	Rot y (90°) 平行移動	Rot z (90°) 平行移動	Rot z (90°) 平行移動	
	z 軸方向	Rot x (90°) 平行移動		Rot y (90°) 平行移動	Rot y (90°) 平行移動	Rot z (90°) 平行移動	Rot z (90°) 平行移動	
x y 平面	x 軸方向	Rot y (90°) Rot z (90°) 平行移動		Rot z (90°) 平行移動	Rot z (90°) 平行移動	Rot x (90°) 平行移動	Rot x (90°) 平行移動	
	y 軸方向	Rot y (90°) 平行移動	Rot y (90°) Rot z (90°) 平行移動	Rot z (90°) 平行移動		Rot x (90°) 平行移動	Rot x (90°) Rot z (90°) 平行移動	
z x 平面	z 軸方向	Rot z (90°) Rot y (90°) 平行移動	Rot z (90°) 平行移動	Rot x (90°) 平行移動	Rot x (90°) Rot y (90°) 平行移動		Rot y (90°) 平行移動	
	x 軸方向	Rot z (90°) 平行移動	Rot z (90°) Rot y (90°) 平行移動	Rot x (90°) Rot y (90°) 平行移動	Rot x (90°) 平行移動	Rot y (90°) 平行移動		

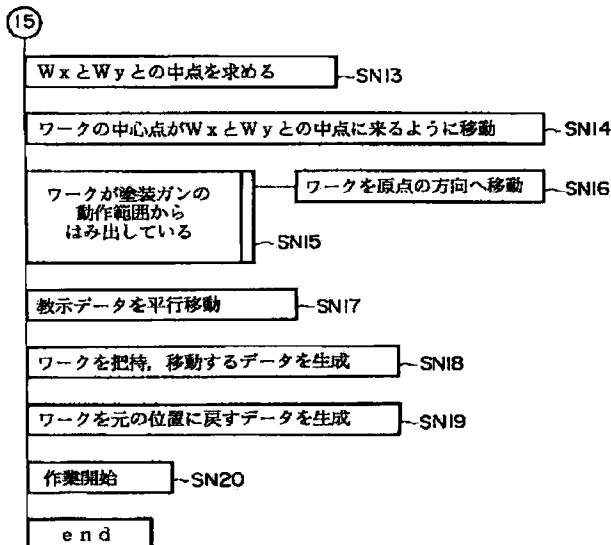
【図45】



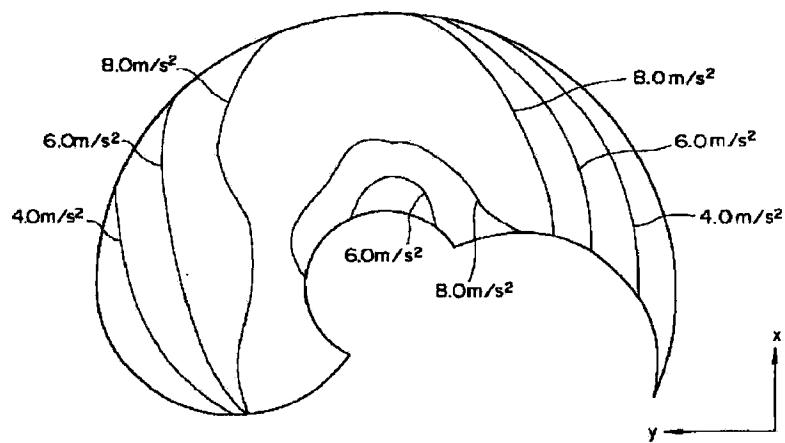
【図47】



【図48】



【図 49】



【図 50】

